

CARLOS AURÉLIO NADAL

# **Determinação das Constantes Instrumentais do Teodolito - Giroscópio**

Dissertação apresentada ao Curso de  
Pós-Graduação em Ciências Geodésicas  
para obtenção do Grau de Mestre em  
Ciências pela Universidade Federal do  
Paraná.

CURITIBA  
1982

DETERMINAÇÃO DAS CONSTANTES INSTRUMENTAIS DO  
TEODOLITO-GIROSCÓPIO

DISSERTAÇÃO

Apresentada ao Curso de Pós-Graduação em  
Ciências Geodésicas para obtenção do Grau de  
Mestre em Ciências pela Universidade Federal  
do Paraná.

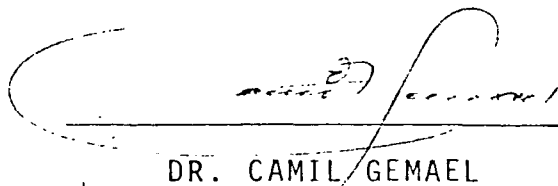
Por

CARLOS AURÉLIO NADAL, ENGº CIVIL


xxx

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

BANCA EXAMINADORA:



DR. CAMIL GEMAEL



MSc NELSI CÔGO DE SÁ



DR. GÜNTER GERD SEEGER

À MINHA ESPOSA

CARMEN LÚCIA

AO MEU FILHO

MARCO AURÉLIO

## AGRADECIMENTOS

O autor deseja manifestar seus profundos agradecimentos:

ao Prof. Dr. Camil Gemael, pela orientação, crítica, sugestões, incentivo nesse trabalho;

aos Profs.: Álvaro Doubek e João Bosco Lugnani pelas sugestões;

aos estudantes Maria Aparecida Zehnpfennig e João Carlos Carrilho pela prestimosa ajuda nas observações;

aos Srs. Antonildo Gotierrez e Romário Cardoso de Araujo pelo desenho e datilografia;

aos meus pais e sogros pelo apoio e ajuda;

à Casa Wild do Brasil, S/A. que gentilmente permitiu a reprodução dos desenhos e fotogramas dos seus catálogos;

à todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a elaboração desse trabalho.

## SINOPSE

O objetivo deste trabalho é a determinação das constantes instrumentais do giroteodolito Wild GAK-1 do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná.

Os resultados, obtidos na estação CP-1, da comparação do azimute giroscópico com o azimute astronômico, tornaram possível não só satisfazer aquele objetivo, como também a análise da precisão dos métodos de observação.

## ABSTRACT

The aim of this research is to determine the instrumental constants for the gyrotheodolite Wild GAK-1 of the "Universidade Federal do Paraná".

The results of the comparison of the gyroscopic north and true north, at the CP-1 station made it possible not only to satisfy the stated aim, but also to analyse the accuracy of different methods of determination.

## SUMÁRIO

|                     | Página |
|---------------------|--------|
| Título.....         | ii     |
| Dedicatória.....    | iii    |
| Agradecimentos..... | iv     |
| Sinopse.....        | v      |
| Abstract.....       | v      |
| Sumário.....        | vi     |

## CAPÍTULO I

### INTRODUÇÃO

|                 |    |
|-----------------|----|
| Introdução..... | 01 |
|-----------------|----|

## CAPÍTULO II

### ASPECTOS HISTÓRICOS DO TEODOLITO-GIROSCÓPIO

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 2.1 | Introdução.....                              | 03 |
| 2.2 | Origem do Giroscópio.....                    | 03 |
| 2.3 | Primeiras Aplicações do Giroscópio.....      | 05 |
| 2.4 | Desenvolvimento do Teodolito-Giroscópio..... | 06 |

## CAPÍTULO III

### GIROTEODOLITO WILD GAK-1

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 3.1 | Introdução.....  | 12 |
| 3.2 | Componentes do Giroteodolito Wild GAK-1 .....                                    | 12 |
| 3.3 | Modificações e Adaptações no Teodolito Wild<br>T2 Para Receber o Giroscópio..... | 14 |
| 3.4 | Giroscópio Wild GAK-1 .....  | 14 |

|       |   | Página |
|-------|---|--------|
| 3.4.1 | Princípio de Funcionamento .....                                    | 14     |
| 3.4.2 | Descrição dos Elementos Construtivos do Giroscópio Wild GAK-1 ..... | 18     |
| 3.5   | Conversor GKK-3.....  | 22     |
| 3.6   | Baterias e Carregadores de Baterias.....                            | 23     |
| 3.7   | Funcionamento do Giroteodolito Wild GAK-1 ...                       | 24     |

## CAPÍTULO IV

### MÉTODOS PARA A DETERMINAÇÃO DO MERIDIANO DO LUGAR UTILIZANDO O GIROTEODOLITO WILD GAK-1

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 4.1   | Introdução.....   | 27 |
| 4.2   | Pré-Orientação do Giroteodolito.....                                      | 27 |
| 4.3   | Métodos Rápidos .....   | 28 |
| 4.3.1 | Introdução.....   | 28 |
| 4.3.2 | Com Pontos de Elongação Máxima .....                                      | 29 |
| 4.3.3 | Com Determinação de um Quarto do Período de Oscilação do Giropêndulo..... | 31 |
| 4.3.4 | Com a Determinação de Amplitudes.....                                     | 33 |
| 4.4   | Métodos Precisos.....   | 38 |
| 4.4.1 | Introdução.....   | 38 |
| 4.4.2 | Com Pontos de Elongação Máxima.....                                       | 38 |
| 4.4.3 | Método das Passagens.....   | 43 |
| 4.5   | Constante de Calibração.....  | 48 |

## CAPÍTULO V

### DETERMINAÇÃO DAS CONSTANTES INSTRUMENTAIS DO GIROTEODOLITO WILD GAK-1

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 5.1   | Introdução.....  | 51 |
| 5.2   | Determinação com Métodos Rápidos.....  | 51 |
| 5.2.1 | Com Pontos de Elongação Máxima .....   | 51 |
| 5.2.2 | Com a Determinação de um Quarto do Período de<br>Oscilação do Giropêndulo..... | 53 |
| 5.2.3 | Com a Determinação de Amplitudes.....  | 55 |
| 5.3   | Determinações com Métodos Precisos.....  | 56 |
| 5.3.1 | Com Pontos de Elongação Máxima .....   | 56 |
| 5.3.2 | Método das Passagens.....  | 60 |
| 5.4   | Calibração do Giroteodolito Wild GAK-1.....                                    | 68 |

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSÕES

|                  |    |
|------------------|----|
| Conclusões ..... | 70 |
|------------------|----|

|                           |    |
|---------------------------|----|
| NOTAS DE REFERÊNCIAS..... | 72 |
|---------------------------|----|

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 75 |
|---------------------------------|----|



## CAPÍTULO I

### INTRODUÇÃO

Os giroteodolitos começam a ser utilizados na cartografia brasileira.

A realização de experimentos com estes equipamentos em nosso país é necessária.

O autor, objetivando a determinação das constantes instrumentais, efetuou observações na estação CP-1 Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná. Utilizou o giroteodolito Wild GAK-1 do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Os azimutes giroscópicos determinados foram comparados a um azimute astronômico. Espera-se, além das constantes deste equipamento, a análise da precisão dos métodos de determinação da linha norte-sul.

Na parte monográfica espera-se colaborar com a bibliografia nacional.

Assim, no segundo capítulo são apresentados aspectos históricos do desenvolvimento dos giroteodolitos.

No terceiro capítulo são descritos os componentes do giroteodolito Wild GAK-1 e seus funcionamentos.

No quarto capítulo são mostrados os métodos para a determinação da linha norte-sul verdadeira e para a determinação das constantes instrumentais do giroteodolito Wild GAK-1.

Finalmente, no quinto capítulo são apresentados exemplos das observações realizadas e sua análise, ainda um exemplo de calibração com o giroteodolito Wild GAK-1.

Os programas de computação em linguagem Fortran, não foram anexados ao trabalho.

## CAPÍTULO II

### ASPECTOS HISTÓRICOS DO TEODOLITO-GIROSCÓPIO

#### 2.1 - Introdução

O objetivo desse capítulo é mostrar alguns aspectos da evolução dos teodolitos-giroscópio.

#### 2.2 - Origem do Giroscópio

No século XIX, muitos cientistas dedicaram seus estudos ao movimento de rotação dos corpos.

O homem buscava uma maneira de provar a rotação da Terra em torno de um eixo.

Nessa busca muitos fatos foram elucidados acerca do movimento de rotação dos corpos e suas consequências.

Em 1816 com o objetivo de ilustrar esse movimento foi apresentado na "Universty-mechanic" de Buzengeiger em Tübingem a "precession machine" [1].

J.B. Leon Foucault, físico francês, descreveu à Academia Francesa de Ciências uma experiência objetivando provar o movimento de rotação da Terra.

Essa experiência foi realizada em 1850 no Observatório de Paris. Foi repetida nesse mesmo ano no Pantheon, e no ano seguinte foi realizada na Catedral de Reims e Amiens.

A experiência fundamentava-se na invariabilidade do plano de oscilação de um pêndulo.

Na realização experimental acontecida no Pantheon o pêndulo era constituído de uma esfera de chumbo com uma ponta

saliente de sua superfície. Essa esfera pesava cerca de 28 kg e era suspensa por um arame de aço com 67 m de comprimento de forma que a ponta ficasse voltada para o solo.

O pêndulo foi posto a oscilar, observando-se após algumas horas, que havia uma variação de direção no caminho descrito pela ponta em areia espalhada no solo.

O caráter histórico - científico dessa experiência faz com que a mesma seja repetida em nossos dias em museus e instituições científicas.

Outro experimento devido a Foucault é aquele no qual uma roda que gira rapidamente montada sobre anéis é suspensa verticalmente, de forma que o eixo de rotação da roda permaneça no plano horizontal.

A partir desse fato e do princípio da mudança de direção no momento angular da roda induzido pela rotação da Terra, ter-se-ia como resultado o paralelismo entre o eixo de rotação da roda e o eixo de rotação da Terra. Em outras palavras o eixo de rotação da roda materializaria a meridiana do lugar (linha norte-sul verdadeira).

Na época esse instrumento não funcionou porque a velocidade angular da roda era muito pequena.

O instrumento foi denominado de giroscópio, palavra de origem grega (γύρος = giro, movimento giratório e σκοπεύω = olhar, observar), ou seja, um aparelho que permite revelar rotação.

O sucesso dessa segunda experiência de Foucault foi conseguido em 1878 quando Hopckins adaptou um motor elétrico na roda.

Nessa época merece referência o giroscópio inventado por M. Fessel em Colonia.

O instrumento consistia basicamente de um volante no interior de um anel circular horizontal; o eixo do volante atravessava o anel e era prolongado até um balancim. Era utilizado para demonstrar um movimento giroscópico que consiste em o anel e o balancim se posicionarem em ângulos retos ao movimento angular do volante.

O desenvolvimento teórico do giroscópio ocorria paralelamente aos experimentos.

A Associação Britânica para o Progresso da Ciência recebeu em 1862 o trabalho do Professor A. Cayley, baseado em trabalhos de Euler, sobre o problema fundamental da dinâmica de um corpo sólido.

Em 1884 essa associação recebia outro trabalho de Lord Kelvin que demonstrava a possibilidade de medida da rotação da Terra através de uma bússola giroscópica.

Também nessa época apareceram os trabalhos de autoria de Klein e Sommerfeld sobre Teoria do Giroscópio, publicado entre 1897 e 1910 em quatro volumes.

Registra-se ainda "Report on Gyroscopic Theory" de Sir George Greenhill e "Treatise on Gyrostatics and Rotational Motion" de Andrew Gray [02].

### 2.3 - Primeiras Aplicações do Giroscópio

As empresas que mais interessaram-se pelo giroscópio após sua descoberta foram Sperry nos Estados Unidos, Anschütz na Alemanha e Brown na Inglaterra.

Em 1910 a primeira bússola giroscópica era instalada a bordo de um navio de guerra alemão.

Em 1916 o navio Danish de bandeira alemã portou pela primeira vez na história um piloto automático.

A introdução de grandes estruturas de ferro e máquinas elétricas em navios tornaram proibitivo o uso de bússolas magnéticas.

Assim o British Admiralty efetuou experiências com vários instrumentos, equipando os navios de primeira classe e submarinos com aparelhos Sperry (bússolas giroscópicas e girostabilizadores).

A empresa Brown investigou os erros em determinações efetuadas com bússolas giroscópicas. Preconizado o erro de um grau em azimuth.

Os girostabilizadores nessa época pesavam cerca de duas toneladas com aproximadamente quatro metros de diâmetro.

#### 2.4 - Desenvolvimento do Teodolito-Giroscópio

Em 1914 K. Haussmann apresentou um trabalho ao "Institute of Mine Surveyors" da Alemanha sumariando a teoria básica do movimento giroscópico e mostrando sua aplicação nas determinações do meridiano em minas.

Uma associação entre as empresas Anschultz e Breithaupt encarregou-se da construção desse instrumento.

O instrumento consistia de um giroscópio com momento de inércia  $1,75 \times 10^{-2} \text{ kgm}^2$ , cuja velocidade angular era  $1,9 \times 10^4 \text{ rpm}$  (\*). O giroscópio era dirigido por um motor elétrico

---

(\*)  $1 \text{ rpm} = \pi/30 \text{ rd/s}$  no SI

fixado por baixo numa esfera. Esta por sua vez flutuava em mercúrio. O conjunto encontrava-se no interior de um cilindro de vidro e pesava 9,5 kg. Para o nivelamento utilizavam-se três parafusos calantes fixos num suporte do cilindro de vidro. Nesse suporte foi encaixado um pequeno espelho. Uma luz projetada, além do eixo do giroscópio nesse espelho era observada diretamente através de um teodolito a alguma distância; determinando-se dessa forma a direção apontada pelo instrumento. O tempo necessário para uma única determinação de azimuth era de quatro horas. O período de oscilação do instrumento no local de testes foi de 22 minutos. Esse instrumento não foi utilizado em determinações no interior de minas.

Outros dois instrumentos desenvolvidos pela Anschutz (1924-25 e 1936-37) não foram bem sucedidos em uso.

O primeiro instrumento tinha como características um peso de 300 kg e um período de oscilação da ordem de 21 minutos, no segundo esses valores foram reduzidos. A precisão obtida nesses instrumentos era da ordem de 10' para trabalhos em laboratórios e 12'30" para trabalhos de campo.

Essa precisão não competia com a dos métodos tradicionais (\*).

Em 1922 foi patenteada pela Anschultz e posta em produção uma bússola giroscópica completamente nova para o uso em

---

(\*) Segundo [03] a precisão obtida nos métodos da transferência do azimuth de uma direção para o interior de uma mina através de fios de prumo é da ordem de 2' a 3'.

navios. Essa bússola apresentou novidades aproveitadas nos aparelhos destinados a topografia de minas.

Essa poderia ser descrita com uma esfera resultante do encaixe de dois hemisférios. No seu interior encontravam-se um giroscópio e um motor elétrico imersos em hidrogênio. Essa esfera flutuava em outra concêntrica com raio superior em 6 mm. O líquido de flutuação (mistura acidulada de glicerina e água) preenchia totalmente o espaço entre as duas esferas. A densidade do líquido de flutuação era ajustada para a temperatura de 40°C.

Um sistema de centragem da esfera externa em relação a interna foi produzido, utilizando-se da variação da densidade do líquido de flutuação, campos magnéticos e correntes de Foucault. Um peso dirigido na esfera interna mantinha o eixo do giroscópio na posição horizontal, servindo também para estabilizar o centro de massa do conjunto. Destacava-se ainda nesse instrumento o dispositivo que dirigia a corrente trifásica ao motor. Três cabos de condução de corrente elétrica eram tomados de eletrodos fixos sobre a esfera externa na forma de duas calotas polares e uma tira equatorial. Eletrodos correspondentes na esfera interna estavam conectados ao motor. A corrente elétrica passava através do líquido de flutuação que é a menor distância entre as duas esferas. A solução acidulada não é eletrizada por corrente alternada.

Outra invenção da mesma época foi aquela na qual a posição do eixo do giroscópio poderia ser determinada relativamente. Para isso dois pequenos eletrodos eram colocados em pontos opostos sobre o equador da esfera interna. Sobre a esfera externa posicionavam-se duas resistências elétricas em pontos equatoriais



opostos. Quando uma esfera girava em relação a outra o comprimento da trajetória elétrica aumentava através de uma resistência diminuía em relação a outra. Utilizando uma Ponte de Wheatstone formada por outras duas resistências iguais com posição de equilíbrio determinada com galvanômetro sensitivo, era possível estabelecer a medida do deslocamento do eixo do giroscópio.

Em 1948 o Dr. Jungwirth assistente do Professor Rallensmann da Mining University de Clausthal, conduziu uma análise matemática extensiva ao giroscópio.

Surgiu então o instrumento denominado de Indicador Meridiano. Esse instrumento foi produzido na Africa do Sul em 1951, testado na Universidade de Witwatersand. As características desse instrumento eram o rotor do giroscópio com um momento de inércia de  $4,3 \times 10^{-3} \text{ kgm}^2$ , sua velocidade angular da ordem de 20 000 rpm e seu período de oscilação na latitude de Johanneburg de 23 min. O tempo necessário para uma observação era cerca de 5 h, incluídos tempo de equilíbrio de temperatura, operação, ajuste em amplitude, leituras, desaceleração e desmonte. Com seu tripê o equipamento pesava 226 kg, e o gerador elétrico impulsionado por ar comprimido um pouco mais que isso. O peso total do equipamento a ser transportado às minas excedia a uma tonelada.

Os resultados obtidos com esse equipamento apresentavam precisão da ordem de  $1'$ . Os mesmos apresentavam defazagem em relação a esse valor no caso de instabilidade na pressão do ar utilizado para movimentar o gerador. Mesmo com erros oriundos do problema acima os resultados obtidos eram melhores que os dos métodos clássicos de transferência de azimutes para o interior

de uma mina.

Em 1959 J.I. McLelland anunciou a produção do giro-teodolito KT1. Constituía basicamente de um giroscópio com 70mm de diâmetro com seu eixo montado no plano horizontal. Possuía um momento de inércia da ordem de  $3,36 \times 10^{-4} \text{ kgm}^2$ . Sua velocidade angular da ordem de 24.000 rpm.

No começo de 1961 foi introduzido nas indústrias de minas o instrumento giroscópio IPM (Indicador Preciso do Meridiano). Esse aparelho pesava cerca de 45 kg e com duas horas fornecia um azimute com precisão avaliada de 20".

A Guided Weapons Division da English Electric Aviation Ltda, produziu o IPM exibindo-o na Farnborough Air Show.

O IPM consistia basicamente de um giroscópio dirigido eletricamente montado com seu eixo de rotação no plano horizontal, colocado por baixo de um teodolito modelo Watts. Nele o giroscópio girava livremente sobre o eixo vertical e permanecendo seu eixo de rotação horizontal. O eixo de colimação do teodolito foi montado paralelo ao eixo de rotação. O rotor girava a 24.000 rpm em um meio constituído por hélio e sua temperatura mantida constante ( $54^{\circ}\text{C}$ ) controlada por termostato. Era suprido por baterias de 24V.

O Professor Rellensmann para desenvolver o IPM conduziu pesquisas durante dez anos para a Bergakademie.

Utilizando-se do sistema Rellensmann foi desenvolvido o giroteodolito Wild GAK-1. Montado sobre o teodolito, seu giroscópio com 85 mm de diâmetro possui uma velocidade de rotação angular de 22.000 rpm e seu momento angular é de  $1,86 \times 10^{-1} \text{ kgm}^2/\text{s}$ .

No capítulo III descrevemos o giroteodolito Wild GAK 1.

Uma nova geração de giroteodolitos está se apresentando. As modificações que aparecem têm a finalidade de tornar seu uso extensivo aos trabalhos geodésicos de precisão.

## CAPÍTULO III

### GIROTEODOLITO WILD GAK-1

#### 3.1 - Introdução

O Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas possui um giroteodolito Wild GAK-1. Esse equipamento foi adquirido em 1978.

Neste capítulo será feita uma apresentação do equipamento, de seus componentes e seus respectivos funcionamentos.

#### 3.2 - Componentes do Giroteodolito Wild GAK-1

O giroteodolito Wild GAK-1 da Universidade Federal do Paraná consta dos seguintes itens:

- a) um teodolito Wild T2 ;
- b) um giroscópio Wild GAK-1;
- c) um conversor Wild GKK-3;
- d) duas baterias de 12V;
- e) um carregador de baterias;
- f) demais acessórios para a instalação, manutenção e transporte do equipamento.

O giroteodolito ou teodolito giroscópio é obtido pela união de um teodolito com um giroscópio suspenso. No caso do giroteodolito GAK-1 acopla-se o giroscópio sobre o teodolito.

O motor elétrico que impulsiona o giroscópio utiliza corrente elétrica alternada, por esse motivo existe o conversor. A energia é suprida por baterias de 12V.

Neste trabalho efetuamos os testes com o giroteodolito na estação CP-1, Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná.

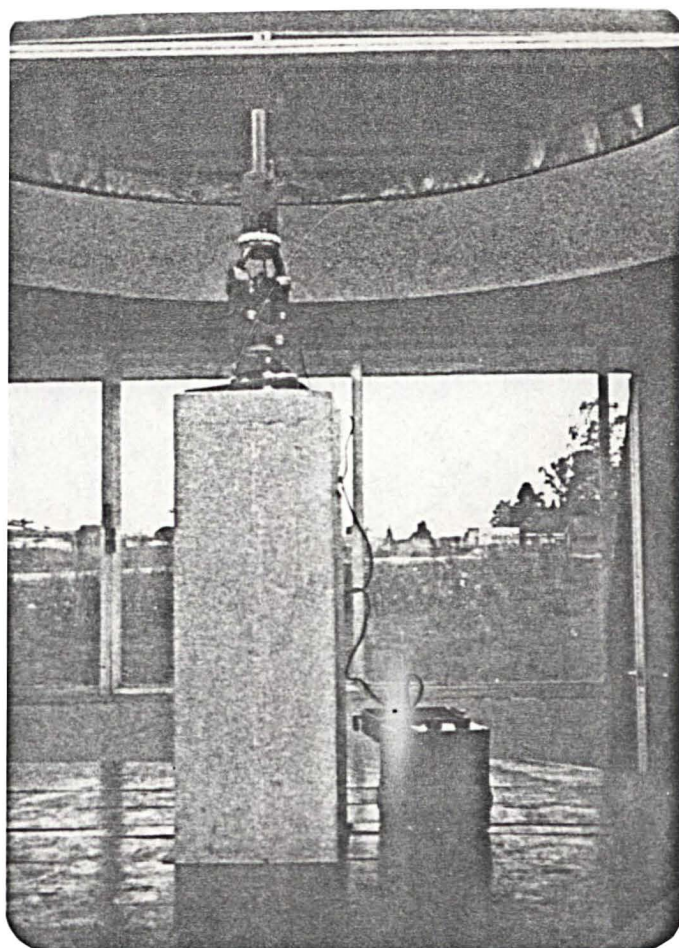


FOTO 3.2 - Giroteodolito Wild GAK-1 instalado na Estação CP-1. UFPr.

### 3.3 - Modificações e Adaptações no Teodolito Wild T2 Para Receber o Giroscópio

O procedimento de colocação do giroscópio sobre o teodolito deve ser efetuado de forma a não prejudicar as funções normais deste.

Como instrumento de fixação do giroscópio ao teodolito criou-se uma "ponte de fixação". Esta, com formato de cavalete, é colocada sobre os montantes do teodolito.

A ponte de fixação possui três apoios esféricos, os quais fazem com que o giroscópio ocupe sempre a mesma posição em relação ao limbo horizontal do teodolito. No topo da ponte encontra-se um "anel de fixação" utilizado para prender o giroscópio através de uma rotação.

Portanto, pode-se preparar qualquer tipo de teodolito com montantes que possibilitem a montagem desse tipo de ponte de fixação da Wild para receber um giroscópio.

### 3.4 . Giroscópio Wild GAK-1

#### 3.4.1 - Princípio de Funcionamento

Para o conhecimento profundo da teoria do giroscópio suspenso sugere-se ao leitor as publicações |<sup>04</sup>|, |<sup>05</sup>|, |<sup>06</sup>|, |<sup>07</sup>| e |<sup>08</sup>|.

O giroscópio suspenso é uma combinação do giroscópio com dois graus de liberdade (\*) e um pêndulo simples do ponto de

---

(\*) Giroscópio com dois graus de liberdade é aquele no qual o eixo de rotação só pode girar em torno do eixo vertical.

vista físico ou seja, teremos nele as propriedades giroscópicas e ainda será regido pelas equações do pêndulo simples.

Neste trabalho trataremos o termo giroscópio como sendo uma combinação do motor elétrico e rotor.

O giroscópio é suspenso verticalmente por um cinta de nivaflex de seção retangular  $0,4 \times 0,02$  mm sujeita a tração e à torção. Do ponto de vista da resistência dos materiais as características dessa cinta são similares a de uma corda de piano [09].

Por ação da força da gravidade o eixo de rotação do giroscópio permanece no plano horizontal.

O rotor acoplado a um motor elétrico atinge uma velocidade angular de rotação de aproximadamente 22.000 rpm a uma frequência de 400 Hz .

A propriedade giroscópica denominada de rigidez giroscópica diz que: " o eixo de rotação tende a manter sua posição inicial de orientação se nenhum torque externo agir sobre o giroscópio [10].

O giroscópio é entretanto solidário ao movimento de rotação da Terra ou por intermédio do tripê, ou por um pilar , como em nosso caso.

Seja  $w_e$  a velocidade de rotação da Terra. Essa rotação origina um torque no giroscópio.

A reação a esse torque se concretiza por um movimento de precessão do giroscópio em torno da vertical com velocidade angular  $w'$  . Essa se pronuncia até que o eixo de rotação do giroscópio esteja no plano do meridiano do observador; neste instante o giroscópio acompanha o movimento de rotação e não mais

é perturbado por esse.

Seja  $I_w$  o momento angular do giroscópio,  $\phi$  a latitude do observador teremos que o torque sofrido pelo giroscópio por ação do movimento de rotação da Terra será:

$$M_e = I_w \cdot \omega_e \cos \phi \quad (3.4.1.1)$$

Como o giroscópio permanece com seu eixo de rotação no plano horizontal somente a componente segundo esse plano da velocidade de rotação da Terra nele interfere ( $\omega_e \cos \phi$ ).

Seja a figura 3.4.1, onde o momento angular do giroscópio ( $I_w$ ) forma um ângulo  $\theta$  com o meridiano do observador no sentido do ponto norte. A diferença  $R$  dos dois momentos que agem sobre o giroscópio será dada em módulo pela expressão:

$$\frac{R}{M_e} = \sin \theta \quad (3.4.1.2)$$

Com a expressão (3.4.1.1) na (3.4.1.2) obteremos:

$$R = I_w \omega_e \cos \phi \sin \theta \quad (3.4.1.3)$$

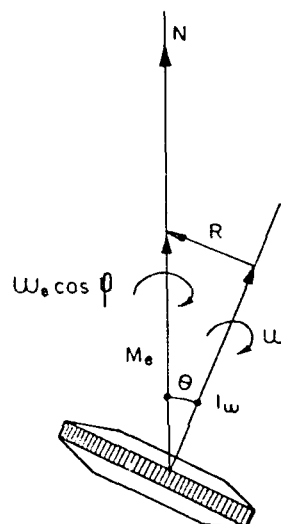


Fig. 3.4.1 — Triângulo de forças agindo sobre o Giroscópio.



A velocidade angular de precessão será igual a:

$$w^i = w_e \cos\phi \operatorname{sen}\theta \quad (3.4.1.4)$$

Ao analisar-se a expressão (3.4.1.3) nota-se que  $R$  é nula para a deflexão  $\theta$  nula, ou seja, o momento angular está com direção contida no plano do meridiano em coincidência com a direção do torque que, nesse caso, age no giroscópio.

Esse comportamento do giroscópio é similar ao da agulha imantada de uma bússola no campo magnético terrestre, excetuando-se o fato do giroscópio não sofrer um deslocamento como aquela para a declinação magnética.

Na equação (3.4.1.3), a função  $\cos \phi$  nos mostra que o giroscópio tem maior eficiência no equador terrestre onde  $\cos \phi = 1$ , portanto  $R$  é máxima sob o ponto de vista desse fator;  $R$  decresce rapidamente próximo aos pólos terrestres. No caso particular do pólo terrestre o giroscópio não apontaria para nenhuma posição fixa pois giraria livremente em torno da vertical.

O giroscópio não se estabiliza na direção norte-sul devido ao seu elevado momento de inércia, mas sim oscila em torno dessa, com amplitude que depende da deflexão inicial  $\theta$ .

Para a finalidade de determinação do meridiano, essa amplitude deve ser controlada da ordem de  $\pm 1^\circ$  a  $\pm 3^\circ$ . Isso é possível graças à incorporação de um mecanismo de amortecimento ao giroscópio que age no sentido vertical.

### 3.4.2 - Descrição dos Elementos Construtivos do Giroscópio

#### Wild GAK-1

Nesse item será usada a seção longitudinal do giroscópio Wild GAK-1 dada na figura 3.4.2 onde aos números indicados, corresponde os elementos:

- 01 - Parafusos de fixação da pinça superior da cinta.
- 02 - Protetor da lâmpada.
- 03 - Lâmpada.
- 04 - Objetiva de projeção com marca de referência.
- 05 - Tronco.
- 06 - Coluna.
- 07 - Eixo de rotação.
- 08 - Placa de amortecimento.
- 09 - Placa de bloqueio.
- 10 - Anel de fixação.
- 11 - Ranhuras em forma de V.
- 12 - Apoio esférico.
- 13 - Ponte.
- 14 - Pinça superior de fixação.
- 15 - Parafusos de ajuste.
- 16 - Cinta de suspensão .
- 17 - Tubo de proteção do tronco.
- 18 - Pinça inferior.
- 19 - Conector do cabo do conversor.
- 20 - Placa isolante fixa.
- 21 - Cinta condutora.
- 22 - Placa de isolamento.
- 23 - Caixa cilíndrica do giroscópio.
- 24 - Giromotor
- 25 - Saliência para fixação da escala
- 26 - Cristal esmerilhado com escala e índice.
- 27 - Lupa de observação (separável).
- 28 - Parafuso de fixação da caixa cilíndrica.
- 29 - Espiga de contato .
- 30 - Cilindro do mecanismo de bloqueio.
- 31 - Anel vermelho de advertência.

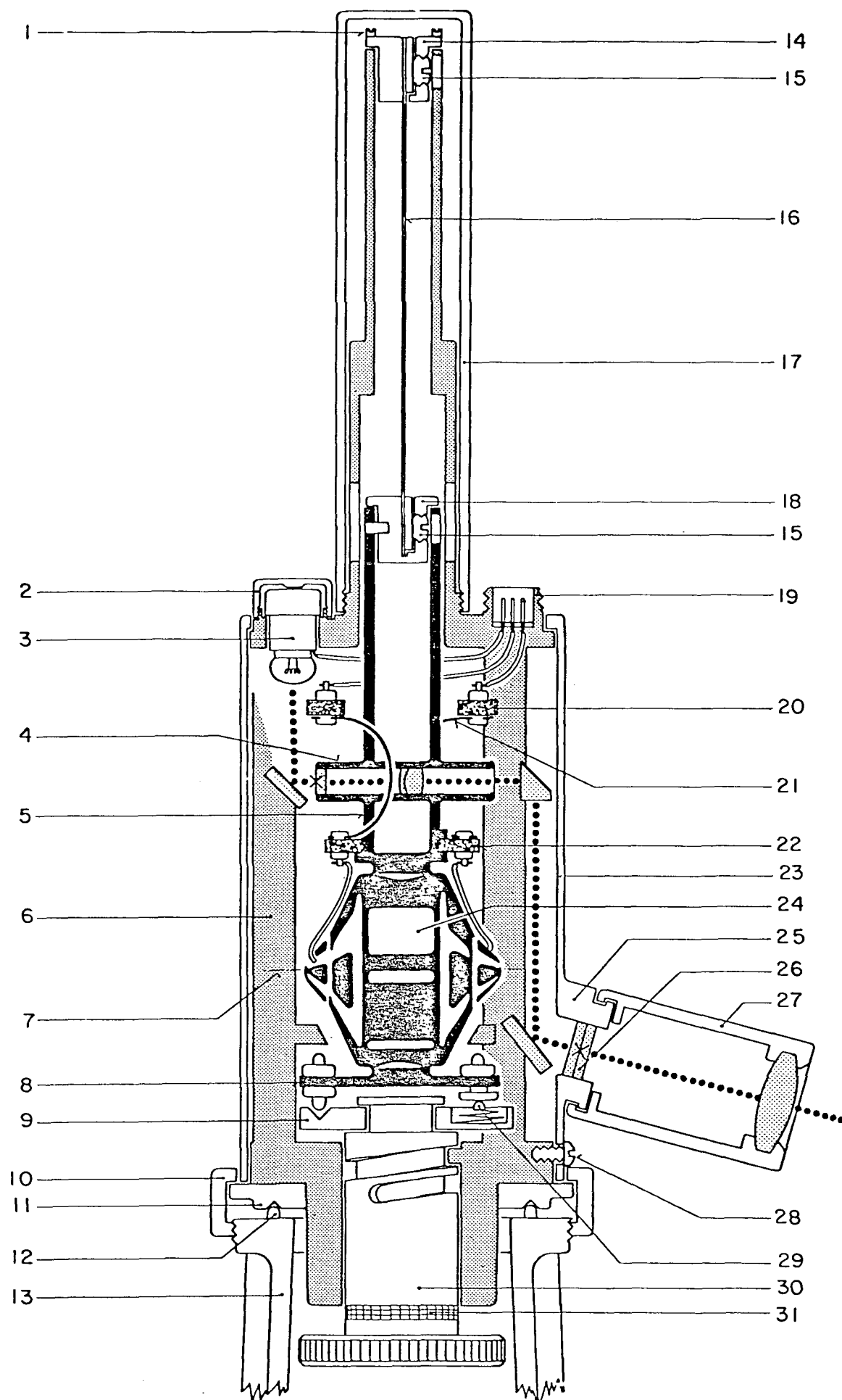


Fig. 3.4.2 — Seção longitudinal do Giroscópio Wild GAK-I

O giroscópio Wild GAK-1 compõe-se de dois sistemas: sistema oscilante e sistema de suporte.

O sistema oscilante ou giropêndulo compõe-se basicamente do tronco (05), do giromotor (24) e da placa de amortecimento (08). Nesse tronco encontramos uma placa de isolamento (22) com cintas condutoras (21); uma objetiva de projeção com marca de referência (04) e ainda os aparelhos de fixação da cinta de suspensão (14) e (18). O aparelho superior de fixação da cinta (14) pode ser girado e é mantido por dois parafusos de pressão (01) e dois parafusos de regulagem.

O sistema de suporte é por sua vez constituído de três colunas (06) com prolongamentos formando um prisma escalonado. No extremo superior desse encontra-se o aparelho de fixação superior (14). Na parte inferior do sistema de suporte encontra-se as ranhuras em forma de "V" (11) as quais servem à centragem do giroscópio na ponte de fixação do teodolito. Nesse sistema também estão fixadas a entrada para energia elétrica (19) onde se encaixa o conector do conversor e uma placa isolante fixa (20) com três cintas porta-corrente. Ainda encontram-se três espelhos que transmitem os raios luminosos da marca de referência (04) nesse sistema.

No cilindro que envolve o conjunto (23) encontra-se o vidro esmirilhado (26) que contém o índice e a escala auxiliar sobre a qual é projetada a marca de referência sem paralaxe.

A lupa (27) serve para a observação da marca de referência. Não é fixa no conjunto e tem regulagem focal.

O centro da escala auxiliar, com um índice em forma de "V", é mostrado na figura 3.4.2 e serve como referência nas

observações com o giroteodolito.

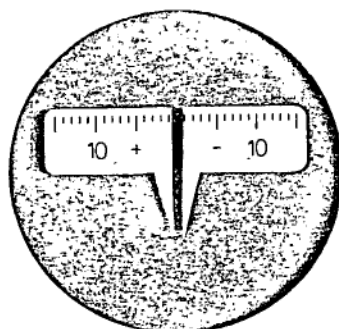


Fig.3.4.2 - Marca de referência centrada.

O encaixe do giroscópio no teodolito se processa de forma que o eixo de rotação do giromotor (07) e o eixo de colimação da luneta do teodolito se encontrem no mesmo plano vertical quando a marca de referência se encontra no centro da escala auxiliar. Esta coincidência é obtida pelo deslocamento do vidro esmirilhado, com a ajuda de parafusos de regulação até um valor máximo de  $\pm 13'$ .

O mecanismo de bloqueio (30) é composto de um anel estriado a mão, de um cilindro guia e da placa de bloqueio (09). Este se encontra na parte inferior do sistema de suporte.

A placa de bloqueio tem a função de centrar e suportar o giropêndulo quando o aparelho está travado. A posição travada do equipamento é aquela na qual o motor está girando com velocidade de rotação máxima, mas não possui o giroscópio nenhum grau de liberdade. Esta placa contém três espigas de contato (29) montadas sobre molas espirais, e na posição de semi-liberação do aparelho tornam a oscilação do giropêndulo em torno do me-

ridiano do observador amortecida e a impedem por flutuação do giropêndulo sobre a placa de amortecimento (08).

No cilindro-guia há um anel vermelho, visível quando o giropêndulo está amortecido, servindo tanto como controle de trava do aparelho, como também sinal de precaução, pois o giroscópio só pode ser separado do teodolito com o anel vermelho invisível para o observador.

### 3.5 - Conversor GKK-3

O conversor é na verdade um transformador trifásico, transistorizado, colocado em uma caixa metálica e alimentado por baterias. Transforma corrente contínua (12V e 24V) em corrente alternada 115V com frequência de 400 Hz.

Na figura 3.5 mostra-se o painel de comando do conversor GKK-3.

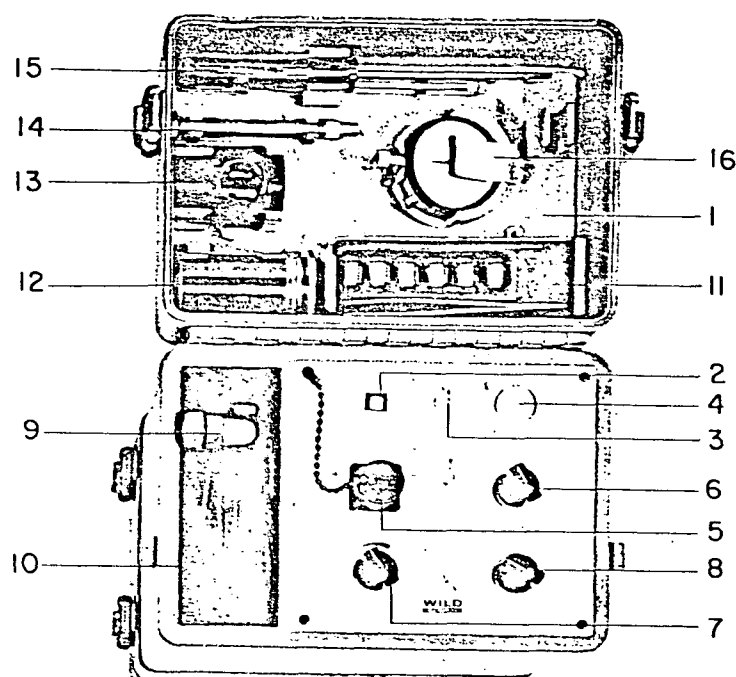


Fig. 3.5— Painel de comando do conversor.

- 01 - Tampa do conversor com acessórios.
- 02 - Indicador de tensão.
- 03 - Fusível de segurança - 5A.
- 04 - Piloto de controle do número de revoluções do rotor.
- 05 - Conector para bateria.
- 06 - Interruptor de funcionamento do giroscópio.
- 07 - Potenciômetro da marca de referência.
- 08 - Interruptor de baterias.
- 09 - Cabo de conexão para o GAK-1.
- 10 - Compartimento para o cabo.
- 11 - Lâmpadas, encaixes, pinças e cintas de suspensão sobressalentes.
- 12 - Lupa de observação da escala auxiliar e da marca de referência.
- 13 - Tronco sobressalente.
- 14 - 15 - Chaves de reparos.
- 16 - Cronômetro .

### 3.6 - Baterias e Carregadores de Baterias.

A bateria que acompanha o equipamento (GKB-2) contém 10 elementos NiCd com tensão nominal de saída 12V. Esta é encaixada por baixo do conversor . Pode-se usar outros tipos de baterias no equipamento, desde que essas preencham as características do conversor (12V e 24V) de tensão nominal de saída, e com capacidade de 6 Ah.

Qualquer carregador de baterias que preencha as condições de tensão nominal de saída 12V e corrente de carga 0,6 A

pode ser usado. É o caso do carregador GKL-4 que acompanha o equipamento .

Para a bateria GKB-2 o tempo máximo de carga é de 12h.

### 3.7 - Funcionamento do Giroteodolito Wild GAK-1

Numa estação onde deseja-se o azimute de uma direção comumente instala-se o equipamento colocando-o em funcionamento; emprega-se um ou mais métodos de observação; desliga-se o equipamento retirando-o desse local, A fim de efetuar essas operações, a menos dos métodos de observação, na sequência abaixo, mostramo-las:

a) a instalação, centragem e calagem do teodolito se processam de forma habitual.

b) Colocar o parafuso micrométrico do movimento horizontal na metade do seu curso.

c) Dirigir a luneta às proximidades da direção norte com a ajuda de cartas, bússolas, etc.

d) Colocar o giroscópio na ponte de fixação, com sua ocular no mesmo sentido da ocular da luneta (posição direta) , fixando-o com um giro do anel de fixação no sentido horário, não apertando em demasia a fim de evitar tensões acidentais.

e) Instalar o conversor próximo ao tripê, abrir sua tampa e retirar o cabo de conexão,

f) Desparafusar o protetor da tomada do giroscópio e nela introduzir o cabo, fixando-o por rotação.

g) Montar a lupa no giroscópio, fixando-a por rotação.



h) Ligar o interruptor de bateria em "INTERN", no caso do uso da GKB-2 e "EXTERN" quando no uso de outra a qual deve ser ligada a tomada do conversor.

i) Verificar no indicador de tensão se a agulha está no setor branco o que significa carga de bateria suficiente para o uso.

j) Regular a iluminação da marca de referência pelo potenciômetro.

l) Iniciar a aceleração do giroscópio colocando o interruptor de arranque na posição "RUN". Nesse instante o consumo de energia é máximo; verificar o indicador de tensão. Caso a agulha entre na zona vermelha efetivar as operações de desaceleração do giroscópio (itens p a r).

m) Verificar o piloto de controle do número de rotações do rotor, que indica cor vermelha quando o giroscópio está acelerando; indicará cor branca quando este atinge a velocidade de medição, com esta passar ao item seguinte.

n) Girar o anel estriado até que se perceba um "pequeno salto". Nessa posição o giroscópio está amortecido. Permanecer nessa posição por 5 a 10 segundos.

o) Girar o anel estriado, agora levemente, observando-se a marca de referência ao mesmo tempo através da lupa, até o final de seu curso. Nesta posição o giroscópio está liberado. Se a marca de referência apresentar movimentos fortes, voltar a posição de amortecimento, caso contrário o aparelho estará pronto para observações.

p) Após utilizar o equipamento girar o anel estriado até seu topo de forma a bloquear o giroscópio.

q) Colocar o interruptor de arranque na posição "BREAK". Observar o piloto de controle de rotações que indicará cor vermelha.

r) Observar cor branca no piloto de controle de rotações que indicará que o giroscópio parou. Colocar o interruptor de arranque por alguns instantes na posição "RUN" e após na posição "OFF".

s) Colocar o interruptor de bateria na posição "OFF".

t) Retirar o cabo de conexão do giroscópio e recolhê-lo à caixa do conversor.

u) Girar o anel de fixação no sentido anti-horário, retirando o giroscópio da ponte de fixação.

v) Guardar, após a desmonta do teodolito, todos os equipamentos em seus estojos.

## CAPÍTULO IV

### MÉTODOS PARA A DETERMINAÇÃO DO MERIDIANO DO LUGAR UTILIZANDO O GIROTEODOLITO WILD GAK-1

#### 4.1 - Introdução

O presente capítulo tem por objetivo a apresentação dos métodos utilizados na determinação da meridiana do lugar com o giroteodolito Wild GAK-1.

#### 4.2 - Prê-Orientação do Giroteodolito

A prê-orientação do giroteodolito é a operação que consiste em direcionar a luneta nas proximidades da meridiana. Ao apontar a luneta no sentido do norte, estaremos orientando o eixo de rotação do giropêndulo nessa mesma direção por condição de centragem do giroscópio sobre o teodolito. A condição de prê-orientação exige que o eixo de colimação do giroteodolito e a linha norte-sul formem um ângulo de no máximo  $30^0$ .

Os meios utilizados, para esse direcionamento são: cartas, bússolas magnéticas ou outro processo. Nas operações em galerias de minas, túneis ou ambientes confinados, nem sempre é possível o uso daqueles meios, sendo então aplicável a técnica de prê-orientação utilizando o próprio giroteodolito.

Chamando-se de direção de partida uma direção aleatória apontada pelo eixo de colimação do giroteodolito e deflexão de partida o ângulo formado entre este eixo e a meridiana ter-se-ão as seguintes possibilidades:

a) A deflexão de partida é maior do que  $30^0$ . Nota-se uma oscilação muito forte no giropêndulo em um sentido, indica da pelo deslocamento rápido da marca na escala auxiliar.

Para prē-orientação, bloqueia-se o giroscópio, girando-se a luneta no sentido da oscilação de aproximadamente  $30^0$ , libera-se novamente o giropêndulo, observando nesta nova posição o deslocamento da marca de referência. Procede-se desta forma até encontrar uma direção em que a marca diminua sua velocidade.

b) A deflexão de partida é igual a aproximadamente  $180^0$ , ou seja, a luneta está dirigida para as proximidades do ponto sul. Observa-se uma oscilação muito débil, que a princípio pode ser confundida com a orientação para o ponto norte.

Aguarda-se alguns instantes, na sequência, se a marca deslocar-se num sō sentido, bloqueia-se o giropêndulo, girando-se a alidade de aproximadamente  $120^0$  no sentido do deslocamento da marca, agindo-se a partir daí como no primeiro caso.

Quando o giroteodolito está prē-orientado pode-se observar inversões no sentido de deslocamento da marca de referência.

#### 4.3 - Métodos Rápidos

##### 4.3.1 - Introdução

Estes métodos exigem uma prē-orientação do giroteodolito. Caracterizam-se por pouca precisão (\*) e pela rapidez com

---

(\*) Não superior a  $2'$

que são executados. São utilizados em operações militares e na topografia para orientação aproximada.

#### 4.3.2 - Com Pontos de Elongação Máxima.

Após a instalação e prē-orientação desbloqueia-se o giropêndulo e acompanha-se o deslocamento da marca de referência com o limbo horizontal livre. O movimento do giropêndulo é processado com a marca no interior do índice em forma de "V" da escala auxiliar (marca centrada fig. 4.3.1).

Ao atingir-se um extremo da amplitude do movimento do giropêndulo, determina-se um ponto de elongação máxima. Nas proximidades deste ponto ocorre uma diminuição da velocidade da marca; prende-se o movimento horizontal e passa-se a seguir a marca com o parafuso micrométrico horizontal, com esta centrada. Exatamente no ponto de elongação máxima a marca estaciona durante alguns segundos quando lê-se o limbo horizontal do teodolito. A marca inicia movimento contrário e deve ser seguida com o limbo horizontal livre até que se tenha outro ponto de elongação máxima no outro extremo do movimento; procede-se então como descrito para o primeiro ponto.

Após a obtenção das leituras ( $u_1$  e  $u_2$ ), bloqueia-se o giroscópio e dirige-se a luneta para o valor da média destas (N):

$$N = \frac{1}{2} (u_1 + u_2) \quad (4.3.2.1)$$

De acordo com a literatura (p.ex. [11] a precisão

deste método é de  $\pm 2'$  a  $\pm 3'$  e o tempo necessário para se chegar ao resultado é da ordem de 6 a 9 minutos.

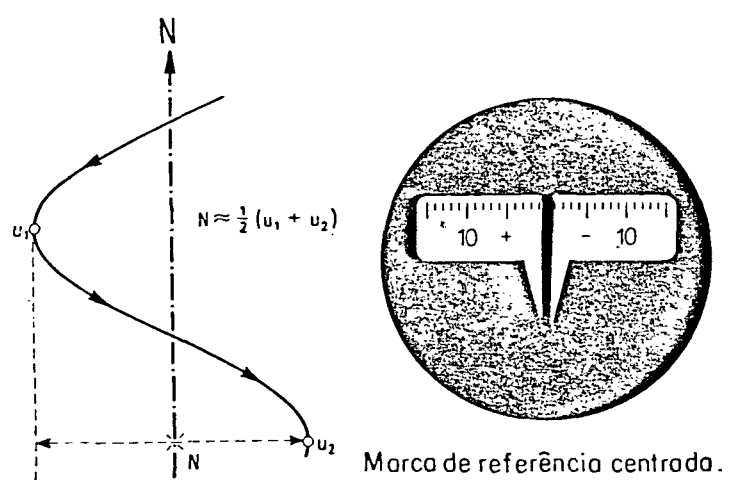


Fig.4.3.1 — Orientação rápida com pontos de elongação máxima.

#### 4.3.3 - Com a Determinação de um Quarto do Período de Oscilação do Giropêndulo.

Para o emprego desse método é necessário o conhecimento do intervalo de tempo correspondente a um quarto do período de oscilação do giropêndulo com aproximação de  $\pm 1s$ . Este intervalo é equivalente ao levado pela marca de referência para ir desde um ponto de elongação máxima até sua passagem pelo meridiano.

É determinado uma só vez para um dado giroscópio em uma determinada latitude. O autor obteve

$$\frac{1}{4} T_u = 1 \text{min } 33,7s \pm 0,4s ,$$

na estação CP-1 ( $\phi=25^{\circ}26'56''S$ ) para o instrumento:

Wild T2 / GAK-1 / GKK-3 = 225566/19145/20815(\*).

Após liberar o giroscópio, com o movimento horizontal solto segue-se sua oscilação, de forma que o centro da escala seja mantido ligeiramente adiantado da marca de referência. Ao notar-se uma diminuição sensível da velocidade de deslocamento da marca, antes do ponto de elongação máxima prende-se o movimento do teodolito no instante em que a marca cruzar o centro da escala auxiliarecoloca-se o cronômetro em funcionamento. Na nova passagem da marca pelo centro da escala lê-se o cronômetro ( $t$ ) e segue-se a marca até o instante em que o mesmo indicar o intervalo dado pela expressão  $|^{12}|$ :

$$T = \frac{1}{2}t + \frac{1}{4}T_u \quad (4.3.3.1)$$

---

(\*) Esta nomenclatura indica o tipo de equipamento e sua respectiva numeração de fábrica.

A direção do eixo de colimação nesse instante está nas proximidades da linha norte-sul.

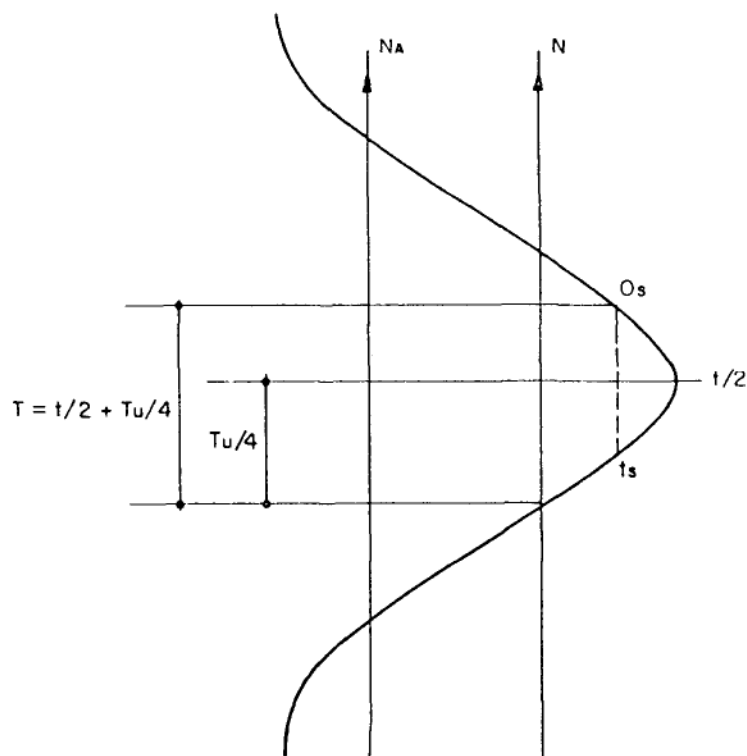


Fig. 4.3.3 — Princípio do método utilizando um quarto do período de oscilação.

A precisão desse método depende da direção inicial  $N_a$ . O tempo necessário para seu procedimento é de 3 a 6 minutos. Pode-se visualizar sua precisão no quadro abaixo <sup>[13]</sup>:

| $N_a$      | Erro Médio |
|------------|------------|
| $\pm 3^0$  | $\pm 2'$   |
| $\pm 10^0$ | $\pm 7'$   |
| $\pm 30^0$ | $\pm 20'$  |



A expressão definidora do intervalo correspondente a um quarto do período de oscilação  $|^{14}|$ :

$$\frac{1}{4} T_u = \frac{1}{4} T_{u_0} (\cos \phi)^{-1/2} \quad (4.3.3.2)$$

onde  $T_{u_0}$  é o período de oscilação para um ponto de latitude equatorial ( $\phi=0^0$ ).

Para o giroteodolito Wild GAK-1 tem-se:

$$\frac{1}{4} T_{u_0} = 99s \quad (4.3.3.3)$$

Derivando-se a expressão (4.3.3.2) em relação a latitude obtêm-se:

$$d\left(\frac{1}{4} T_u\right) = \frac{1}{8} T_{u_0} \operatorname{tg} \phi (\cos \phi)^{-1/2} d\phi \quad (4.3.3.4)$$

Na tabela 4.3.3 a seguir mostra-se a variação de  $1/4 T_u$  com a variação da latitude média ( $\phi_m = 45^0$ )

#### 4.3.4 - Com a Determinação de Amplitudes

Para que se possa empregar esse método é condição básica uma prē-orientação de  $\pm 1^0$ .  $|^{14}|$ .

Durante a oscilação a alidade do giropêndulo permanece bloqueada na direção norte aproximada. Após a liberação lê-se na escala auxiliar as meias amplitudes máximas do giro-pêndulo a leste  $a_e$  e a oeste  $a_w$ .

TABELA 4.3.3 - VARIAÇÃO DE  $1/4 T_u$  ( $\phi_m = 45^\circ$ )

| $\phi$     | $d(')$ | $d (Km)^*$ | $1/4 T_u (s)$ | $d(1/4 T_u')(s)$ |
|------------|--------|------------|---------------|------------------|
| $43^\circ$ | 120'   | 222,24     | 115,76        | 0,5              |
| 10'        | 110'   | 203,72     | 115,92        | 0,47             |
| 20'        | 100'   | 185,20     | 116,08        | 0,43             |
| 30'        | 90'    | 166,68     | 116,24        | 0,38             |
| 40'        | 80'    | 148,16     | 116,40        | 0,34             |
| 50'        | 70'    | 129,64     | 116,56        | 0,30             |
| $44^\circ$ | 60'    | 111,12     | 116,73        | 0,26             |
| 10'        | 50'    | 92,60      | 116,89        | 0,21             |
| 20'        | 40'    | 74,08      | 117,05        | 0,17             |
| 30'        | 30'    | 55,56      | 117,22        | 0,13             |
| 40'        | 20'    | 37,04      | 117,39        | 0,08             |
| 50'        | 10'    | 18,52      | 117,56        | 0,04             |
| $45^\circ$ | 0      | 0          | 117,73        | 0                |
| 10'        | 10'    | 18,52      | 117,90        | 0,04             |
| 20'        | 20'    | 37,04      | 118,08        | 0,08             |
| 30'        | 30'    | 55,56      | 118,25        | 0,13             |
| 40'        | 40'    | 74,08      | 118,43        | 0,17             |
| 50'        | 50'    | 92,60      | 118,60        | 0,21             |
| $46^\circ$ | 60'    | 111,12     | 118,78        | 0,26             |
| 10'        | 70'    | 129,64     | 118,96        | 0,30             |
| 20'        | 80'    | 148,16     | 119,14        | 0,34             |
| 30'        | 90'    | 166,68     | 119,32        | 0,38             |
| 40'        | 100'   | 185,20     | 119,50        | 0,43             |
| 50'        | 110'   | 203,72     | 119,69        | 0,47             |
| $47^\circ$ | 120'   | 222,24     | 119,88        | 0,5              |

(\*) Supondo  $1' \sim 1,852 \text{ Km}$

As experiências demonstram que durante observações com a alidade fixa, a redução de amplitude por período de oscilação é menor do que a precisão da escala auxiliar, o que isenta o observador de efetuar uma terceira leitura de amplitude  $[^{15}]$ .

A soma algébrica das leituras  $a_e$  e  $a_w$  é proporcional ao ângulo  $\Delta N$  formado entre a meridiana (N) e a direção na qual se fixou a alidade (N'); assim tem-se:

$$\Delta N = C_1 (a_e + a_w) \quad (4.3.4.1)$$

e, também:

$$N = N' + \Delta N \quad (4.3.4.2)$$

O fator  $C_1$  é uma constante de proporcionalidade instrumental, determinada empiricamente. Observa-se pelo procedimento acima descrito as direções  $N'_1$  e  $N'_2$  uma aproximadamente  $1^\circ$  a leste e outra  $1^\circ$  a oeste do meridiano. Obtêm-se o sistema de equações:

$$\begin{aligned} N &= N'_1 + C_1 (a_e + a_w)_1 \\ N &= N'_2 + C_1 (a_e + a_w)_2 \end{aligned} \quad (4.3.4.3)$$

Que resolvido fornece:

$$C_1 = \frac{N'_1 - N'_2}{(a_e + a_w)_2 - (a_e + a_w)_1} \quad (4.3.4.4)$$

No fator  $C_1$  inclui-se a influência da torção na cinta de suspensão durante a oscilação.

A constante  $C_1$  pode também ser obtida da física através da fórmula <sup>[16]</sup>

$$C_1 = \frac{1}{2} m \left( 1 + \frac{\chi_0}{\cos \phi} \right) \quad (4.3.4.5)$$

Nesta  $m$  é o valor angular de um intervalo da escala auxiliar ( $\sim 10'$  para o GAK-1) e  $\chi_0$  um fator oriundo da torção na cinta de suspensão para  $\phi = 0^\circ$  ( $\sim 0,17$  para o GAK-1) <sup>[17]</sup>

Uma mudança de latitude  $d\phi$  produz o seguinte efeito sobre  $C_1$ :

$$dC_1 = \frac{1}{2} m \chi_0 \frac{\operatorname{tg} \phi}{\cos \phi} d\phi \quad (4.3.4.6)$$

Na tabela 4.3.4 mostra-se a variação de  $C_1$  com a variação de latitude.

A precisão desse método é limitada pela da leitura da escala auxiliar que fica em torno de  $\pm 0,06$  do intervalo da escala. Pode-se esperar um erro médio da ordem de  $\pm 50''$  a  $\pm 60''$  para a correção  $\Delta N$ . O tempo necessário a uma determinação é da ordem de 4 a 7 minutos <sup>[18]</sup>

TABELA 4.3.4

Variação de  $C_1$  com a latitude

| $\phi$ | $d\phi(')$ | $d\phi(\text{km})$ | $C_1(')$ | $d(C_1)(')$ |
|--------|------------|--------------------|----------|-------------|
| $24^0$ | 120'       | 222,24             | 5,930    | 0,016       |
| 10'    | 110'       | 203,72             | 5,932    | 0,015       |
| 20'    | 100'       | 185,20             | 5,933    | 0,013       |
| 30'    | 90'        | 166,68             | 5,934    | 0,012       |
| 40'    | 80'        | 148,16             | 5,935    | 0,011       |
| 50'    | 70'        | 129,64             | 5,937    | 0,009       |
| $25^0$ | 60'        | 111,12             | 5,938    | 0,008       |
| 10'    | 50'        | 92,60              | 5,939    | 0,007       |
| 20'    | 40'        | 74,08              | 5,940    | 0,005       |
| 30'    | 30'        | 55,56              | 5,942    | 0,004       |
| 40'    | 20'        | 37,04              | 5,943    | 0,003       |
| 50'    | 10'        | 18,52              | 5,944    | 0,001       |
| $26^0$ | 0          | 0                  | 5,946    | 0           |
| 10'    | 10'        | 18,52              | 5,947    | 0,001       |
| 20'    | 20'        | 37,04              | 5,948    | 0,003       |
| 30'    | 30'        | 55,56              | 5,950    | 0,004       |
| 40'    | 40'        | 74,08              | 5,951    | 0,005       |
| 50'    | 50'        | 92,60              | 5,953    | 0,007       |
| $27^0$ | 60'        | 111,12             | 5,954    | 0,008       |
| 10'    | 70'        | 129,64             | 5,955    | 0,009       |
| 20'    | 80'        | 148,16             | 5,957    | 0,011       |
| 30'    | 90'        | 166,68             | 5,958    | 0,012       |
| 40'    | 100'       | 185,20             | 5,960    | 0,013       |
| 50'    | 110'       | 203,72             | 5,961    | 0,015       |
| $28^0$ | 120'       | 222,24             | 5,963    | 0,016       |
| 30'    | 150'       | 277,8              | 5,967    | 0,020       |
| $29^0$ | 180'       | 333,36             | 5,972    | 0,024       |
| 30'    | 210'       | 388,92             | 5,977    | 0,028       |
| $30^0$ | 240'       | 444,48             | 5,981    | 0,032       |
| 30'    | 270'       | 500,04             | 5,987    | 0,036       |

#### 4.4 - Métodos Precisos

##### 4.4.1 - Introdução:

Nos trabalhos topográficos, necessita-se de maior precisão que a fornecida pelos métodos rápidos. Os métodos que serão descritos na sequência satisfazem esta exigência.

##### 4.4.2 - Com Pontos de Elongação Máxima

Para o emprego deste método é necessário uma pré-orientação da ordem de  $\pm 30'$ , quando emprega-se o teodolito Wild T2. Esta particularidade é função do curso do parafuso micrométrico horizontal deste teodolito.

Com o parafuso micrométrico na metade de seu curso iniciam-se as observações. Após a liberação do giroscópio (solta-se o cilindro guia através do anel estriado, lentamente), segue-se sua oscilação com o movimento horizontal do teodolito através do parafuso micrométrico, mantendo-se a marca de referência no centro da escala auxiliar (marca centrada). A cinta de suspensão não sofre assim nenhuma torção e por conseguinte, não transmite a oscilação.

A marca diminui sua velocidade nas proximidades de um ponto de elongação máxima, permanecendo imóvel neste ponto durante alguns segundos quando se lê o limbo horizontal do teodolito (L). O giroscópio inicia então movimento em sentido contrário até chegar a outro ponto de elongação máxima do outro lado do meridiano onde é lido novamente o limbo horizontal. Prossegue-se as medidas para um certo número de pontos da ordem de 4 a 6 [19].

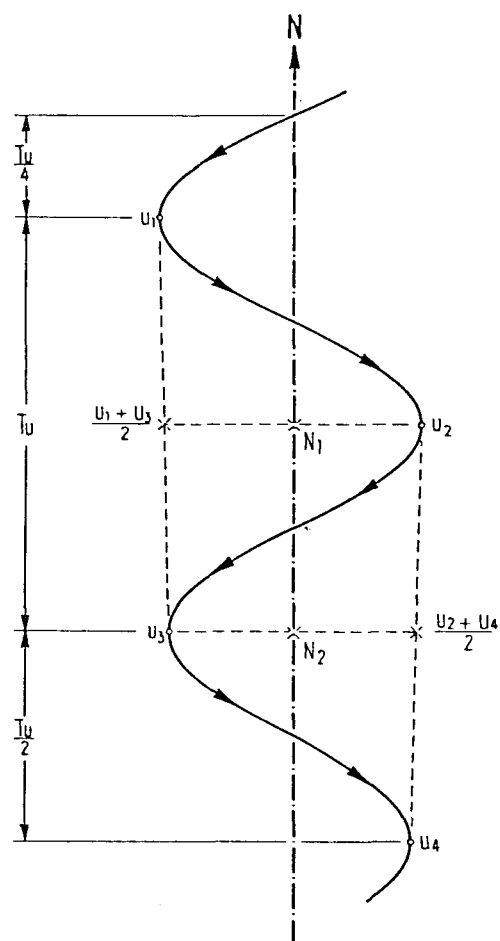


Fig. 4.4.2 — Princípio do método preciso com pontos de elongação máxima.

Para calcular a posição da meridiana (N) utiliza-se uma das seguintes fórmulas:

a) Média de Schuler

A chamada média de Schuler é dada pela expressão:

$$N = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i \quad (4.4.2.1)$$

onde N é a média aritmética dos valores de A obtidos desta outra expressão:

$$A_i = \frac{1}{2} \left| \frac{1}{2} (L_{i-1} + L_{i+1}) + L_i \right| \quad (4.4.2.2)$$

Sendo n o número total de pontos de elongação máxima observados menos dois.

b) Média de Kohlrausch

A chamada média de Kohlrausch é dada pela expressão:

$$N = \frac{1}{2} (A_i + A_j) \quad (4.4.2.3)$$

onde:

$$A_i = \frac{1}{m_1} L_i \quad (4.4.2.4)$$

sendo  $i = 1, 3, 5 \dots$  e  $m_1$  o total de pontos de elongação máxima ímpares;



$$A_j = \frac{1}{m_2} L_j$$

sendo  $j = 2, 4, 6 \dots$  e  $m_2$  o total de pontos de alongação máxima pares. Poder-se-ia ao invés de pensar em pontos pares e ímpares, pensar em pontos à direita (leste) e à esquerda (oeste) .

### c) Fórmulas de Thomas - Lauf

Nestas fórmulas foram utilizados coeficientes de um desenvolvimento binomial  $|^{20}|$  . A fórmula de Thomas para sete pontos de alongação máxima observados é a seguinte:

$$N = \frac{1}{64} (L_1 + 6L_2 + 15L_3 + 20L_4 + 15L_5 + 6L_6 + L_7) \quad (4.4.2.6)$$

Na publicação "Adjustament and Precision of Gyro-theodolite Observations" o Prof. Lauf deduz, utilizando princípios de ajustamento de observações, outras expressões para a fórmula de Thomas  $|^{21}|$ :

I) - para  $n = 4$

$$N = \frac{1}{8} \left| (L_1 + L_4) + 3 (L_2 + L_3) \right| ; \quad (4.4.2.7)$$

II)- para  $n = 8$

$$N = \frac{1}{80} \left| 7(L_1+L_8)+13(L_2+L_7)+9(L_3+L_6)+11(L_4+L_5) \right| ;$$

(4.4.2.8)

III) - para  $n = 12$

$$N = \frac{1}{840} \left| \begin{array}{l} 55(L_1+L_{12})+85(L_2+L_{11})+61(L_3+L_{10})+79(L_4+L_9)+ \\ +67(L_5+L_8)+73(L_6+L_7) \end{array} \right| ; \quad (4.4.2.9)$$

IV) - para  $n = 16$

$$N = \frac{1}{672} \left| \begin{array}{l} 35(L_1+L_{16})+49(L_2+L_{15})+37(L_3+L_{14})+47(L_4+L_{13})+ \\ +39(L_5+L_{12})+45(L_6+L_{11})+41(L_7+L_{10})+43(L_8+L_9) \end{array} \right| . \quad (4.4.2.10)$$

#### d) Precisão das fórmulas

O Prof. G.B. LAUF <sup>22</sup> aplicando as fórmulas acima com oito pontos de alongação máxima encontrou os seguintes erros sistemáticos, todos em relação a solução de GAUSS:

|                     |        |
|---------------------|--------|
| Média de Schuler    | -1,82" |
| Média de Kohlrausch | -0,93" |
| Fórmula de Thomas   | -3,93" |

Precisão do Método:

Quanto à precisão deste método pode-se dizer que aumenta por observações de mais de três pontos de alongação máxima, porém a fadiga dos olhos e dos braços do operador e a diminuição de concentração afetam a precisão para um grande número

de pontos. A precisão é ainda limitada pela colocação da marca no centro da escala auxiliar, cujo erro vai de 6" a 10" aproximadamente. Ensaio efetuados com o teodolito Wild T-2 mostram que os azimutes médios apresentam erro médio de  $\pm 15''$  a  $\pm 30''$  [23].

O tempo necessário para a execução das observações é de no mínimo 13 min e a operação total (instalação do aparelho, pré-orientação) exigindo em torno de 23 min para 4 pontos de elongação máxima [24].

#### 4.4.3 - Método das Passagens

É necessário para a execução desse método uma pré-orientação da ordem de  $\pm 20'$  [24] na maioria dos casos isto é conseguido com a ajuda dos métodos rápidos; o princípio e a técnica do método estão descritos em conjunto a seguir.

Bloqueia-se a alidade do teodolito na direção norte aproximada ( $N'$ ); libera-se o giro-pêndulo e com a ajuda de um cronômetro de agulha, cronometra-se os instantes de passagem ( $t_i$ ) da marca pelo centro da escala auxiliar, lendo-se ainda nesta os deslocamentos máximos  $a_w$  e  $a_e$  da marca.

A diferença de tempo ( $\Delta T$ ) entre duas passagens sucessivas ( $t_i$ ;  $t_{i+1}$ ), levando-se em conta o sinal dos tempos de oscilação  $t_w$  (oeste = negativo) e  $t_e$  (leste = positivo), é proporcional ao deslocamento  $\Delta N$  (ângulo formado entre as direções  $N$  e  $N'$ ), e à amplitude de oscilação  $a$ ; esta é obtida pela média dos valores absolutos de  $a_w$  e  $a_e$ . Pode-se traduzir o descrito pelas expressões:

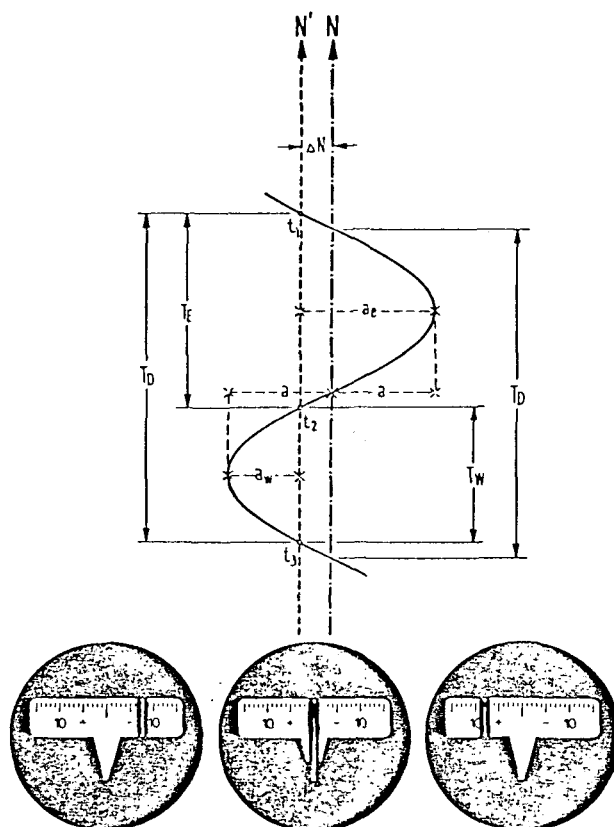


Fig. 4.4.3 — Princípio do método das passagens.

$$a = \frac{a_e + a_w}{2} \quad (4.4.3.1)$$

$$\Delta T = t_i + t_{i+1} \quad (4.4.3.2)$$

$$\Delta N = C \cdot a \cdot \Delta T \quad (4.4.3.3)$$

e

$$N = N' + \Delta N \quad (4.4.3.4)$$

A proporcionalidade entre  $\Delta T$  e  $\Delta N$  dada na (4.4.3.3) somente é válida na parte linear da oscilação do giropêndulo ; tendo-se em conta que a precisão do giroscópio está ao redor de 20% da amplitude,  $\Delta T$  não deve ser superior a 10% do período de oscilação  $T_D$ . Pelo motivo acima deve ser conseguida uma amplitude de oscilação da ordem de  $\pm 100'$  isto é, de  $\pm 10$  intervalos da escala auxiliar <sup>[25]</sup>

O fator C denominado de constante de proporcionalidade é determinado empiricamente ou fisicamente.

A determinação empírica de C é feita uma só vez para um determinado giroscópio em uma determinada estação <sup>[26]</sup>. Observa-se pelo procedimento descrito, acima as direções aproximadas  $N_1'$  e  $N_2'$  entre 15' a 20' a leste e a oeste da meridiana geográfica N, obtendo-se o sistema de equações:

$$\begin{aligned} N &= N_1' + C a_1 \Delta T_1 \\ N &= N_2' + C a_2 \Delta T_2 \end{aligned} \quad (4.4.3.5)$$

do qual extrai-se o valor de C

$$C = \frac{N_1' - N_2'}{a_2 \Delta T_2 - a_1 \Delta T_1} \quad (4.4.3.6)$$

A constante de proporcionalidade C é determinada fisicamente pela fórmula <sup>[27]</sup>

$$C = \frac{\pi m}{2 T_D} \left( 1 + \frac{x_0}{\cos \phi} \right) \quad (4.4.3.7)$$

Depende da latitude do observador ( $\phi$ ) e contém o efeito de torção na cinta de suspensão.

Nessa expressão os termos tem o seguinte significado:

$m$  : é o valor em minutos de arco do intervalo unitário da escala auxiliar;

$T_D$  : período de oscilação do giro-pêndulo;

$\chi_0$  : fator oriundo da torção na cinta de suspensão para  $\phi = 0^\circ$ . Para o GAK-1:  $\chi_0 = 0,17 \text{ } |^{28}|$

$\phi$  : latitude do observador

O período de oscilação é calculado pela fórmula  $|^{29}|$ :

$$T_D = T_{u_0} (\cos \phi + \chi_0)^{-1/2} \quad (4.4.3.8)$$

onde  $T_{u_0}$  é o período de oscilação sem influência da torção na cinta de suspensão para  $\phi = 0^\circ$ . Para o GAK-1  $T_{u_0} = 395 \text{ s } |^{30}|$

Para latitude  $\phi = 25^\circ 26' 56'' \text{ S}$  da estação CP-1 a constante de proporcionalidade resulta por emprego das fórmulas (4.4.3.7) e (4.4.3.8):

$$C = 0,04895' / \text{s} = 2,93685'' / \text{s}$$

Derivando-se a expressão (4.4.3.7), pode-se analisar a influência da mudança do local de observação sobre o valor de  $C$ . Assim tem-se:

$$dC = \frac{\pi m \operatorname{sen} \phi}{2 T_{u_0} \cos^2 \phi} \left| (\cos \phi + \chi_0)^{3/2} - \frac{3}{2} \cos \phi (\cos \phi + \chi_0)^{1/2} \right| d\phi \quad (4.4.3.9)$$

Na tabela abaixo mostra-se a variação de  $C$  com a variação de latitude para  $\phi_m = 25^\circ$

TABELA 4.4.3 - VARIAÇÃO DE  $C$  PARA  $\phi_m = 25^\circ$

| $\phi$       | $d\phi(')$ | $d\phi(\text{km})$ | $C('/\text{s})$ | $dC('/\text{s})$ |          |
|--------------|------------|--------------------|-----------------|------------------|----------|
| $22^{\circ}$ | 30'        | 150                | 277,8           | 0,04924          | +0,00026 |
|              | 40'        | 140                | 259,28          | 0,04923          | +0,00024 |
|              | 50'        | 130                | 240,76          | 0,04921          | +0,00022 |
| $23^{\circ}$ |            | 120                | 222,24          | 0,04919          | +0,00021 |
|              | 10'        | 110                | 203,72          | 0,04918          | +0,00019 |
|              | 20'        | 100                | 185,20          | 0,04916          | +0,00017 |
|              | 30'        | 90                 | 166,68          | 0,04914          | +0,00016 |
|              | 40'        | 80                 | 148,16          | 0,04913          | +0,00013 |
|              | 50'        | 70                 | 129,64          | 0,04911          | +0,00012 |
| $24^{\circ}$ |            | 60                 | 111,12          | 0,04909          | +0,00010 |
|              | 10'        | 50                 | 92,60           | 0,04908          | +0,00009 |
|              | 20'        | 40                 | 74,08           | 0,04906          | +0,00007 |
|              | 30'        | 30                 | 55,56           | 0,04905          | +0,00005 |
|              | 40'        | 20                 | 37,04           | 0,04903          | +0,00003 |
|              | 50'        | 10                 | 18,52           | 0,04901          | +0,00002 |
| $25^{\circ}$ |            | 0                  | 0               | 0,04899          | +0,00000 |
|              | 10'        | 10                 | 18,52           | 0,04898          | -0,00002 |
|              | 20'        | 20                 | 37,04           | 0,04896          | -0,00003 |
|              | 30'        | 30                 | 55,56           | 0,04894          | -0,00005 |
|              | 40'        | 40                 | 74,08           | 0,04892          | -0,00007 |
|              | 50'        | 50                 | 92,60           | 0,04891          | -0,00009 |
| $26^{\circ}$ |            | 80                 | 111,12          | 0,04889          | -0,00010 |
|              | 10'        | 70                 | 129,64          | 0,04887          | -0,00012 |
|              | 20'        | 80                 | 148,16          | 0,04885          | -0,00013 |
|              | 30'        | 90                 | 166,68          | 0,04883          | -0,00016 |
|              | 40'        | 100                | 185,20          | 0,04881          | -0,00017 |
|              | 50'        | 110                | 203,72          | 0,04879          | -0,00019 |
| $27^{\circ}$ |            | 120                | 222,24          | 0,04878          | -0,00021 |
|              | 10'        | 130                | 240,76          | 0,04876          | -0,00022 |
|              | 20'        | 140                | 259,28          | 0,04874          | -0,00024 |
|              | 30'        | 150                | 277,80          | 0,04872          | -0,00026 |

Supondo-se um  $\Delta N$  máximo ao redor de  $20'$ , o efeito da variação de latitude não deve ultrapassar a  $\pm 10''$ , o que leva a considerar  $C$  constante para  $d\phi \pm 2,3^\circ$ .

A precisão interna deste método está limitada à precisão da cronometragem da passagem da marca de referência pelo centro da escala. Com um cronômetro cuja precisão esteja ao redor de  $0,2s$  obtém-se para  $\Delta N$  uma precisão de  $\pm 6''$  a  $\pm 10''$  <sup>[31]</sup>. Esta precisão aumenta quando se observam mais de três passagens. A precisão externa que diz respeito ao azimute determinado é influenciada também pelo número de passagens observadas.

O tempo necessário para este procedimento com observação de três passagens é de aproximadamente 10min, com a pré-orientação 22 minutos <sup>[32]</sup>.

#### 4.5-Constante de Calibração (E)

Quando se efetua uma determinação do azimute de uma direção com giroteodolito, na realidade não se encontra a meridiana geográfica, mas sim uma direção denominada "meridiana giroscópica".

Na figura 5.1 os elementos tem o seguinte significado:

$N_V$  : norte verdadeiro ou geográfico;

$N_G$  : norte giroscópico;

$M$  : mira de referência para a materialização do meridiano;

$0^\circ$  : direção da graduação zero do limbo horizontal;

$L_m$  : leitura horizontal da direção estação de instalação (0) - mira;



$N$  : leitura horizontal da direção da meridiana giroscópica.

$A_G$ : Azimute giroscópico da mira (\*)

$A_V$ : Azimute verdadeiro da mira (\*)

$E$  : Constante de calibração

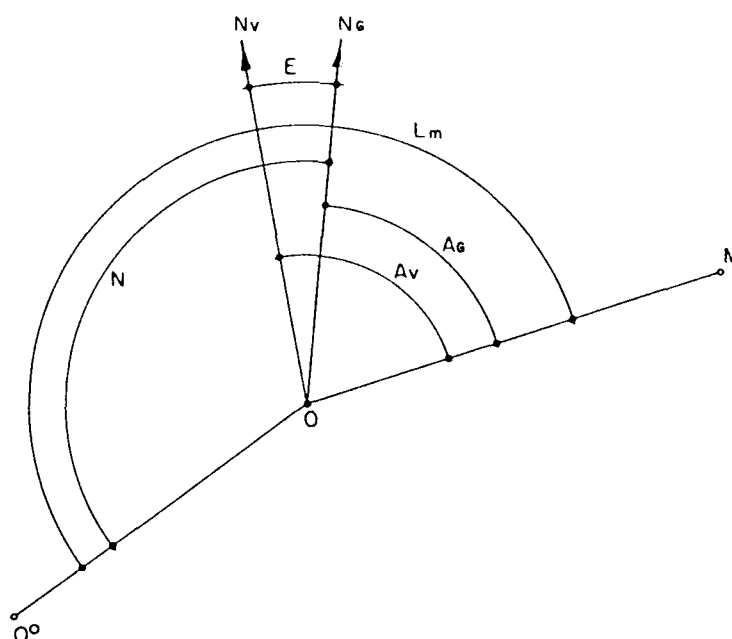


Fig. 5.1 — Constante de Calibração.

A leitura  $N$  é obtida a partir de um dos métodos de observação.

A precisão da determinação da constante de calibração  $E$  influencia diretamente a precisão do azimute verdadeiro determinado com giroteodolito.

---

(\*) Azimutes contados do norte no sentido NLSO

A constante de calibração  $E$  é oriunda tanto de fatores geométricos como físicos <sup>[33]</sup>.

Os fatores geométricos seriam oriundos da não complanaridade entre o eixo de colimação do teodolito e o eixo de rotação do giroscópio; da mesma forma da não complanaridade daquele eixo e do eixo ótico do sistema de lentes que projeta a marca de referência sobre a escala auxiliar. O alongamento da cinta de suspensão devido ao transporte, fadiga por uso, faz com que haja variações em  $E$ .

Muitos fatores físicos influenciam a constante de calibração, fazendo com que a mesma deva ser determinada frequentemente <sup>[34]</sup>. Além dos fatores já enfatizados quando foram expostos os métodos de observação, tais como: o inexato conhecimento da torção na cinta de suspensão, erros de observações, etc., outros fatores físicos a influenciar  $E$  são:

- a) A instabilidade de frequência e voltagem da força elétrica que supre o motor do giroscópio.
  - b) Distúrbios magnéticos, os quais causam variações na posição de equilíbrio do giropêndulo <sup>[35]</sup>.
  - c) Variações oriundas de esforços externos no equipamento.
  - d) Erros de observações em leituras, pontos de elongações máximas, cronometragem, de pontarias e leitura da mira de referência.
  - e) Erro no azimuth conhecido da estação de calibração.
- Pode-se então a partir da comparação entre o azimuth geográfico e o azimuth giroscópico, efetuar a determinação da constante de calibração:

$$E = A_V - A_G = A_V - (L_m - N) \quad (5.1)$$

## CAPÍTULO V

DETERMINAÇÃO DAS CONSTANTES INSTRUMENTAIS DO  
GIROTEODOLITO WILD GAK-1

## 5.1 - Introdução

Serão apresentados neste capítulo os resultados obtidos pelo autor com o giroteodolito Wild GAK-1 na estação CP-1, Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná. Por comparação dos azimutes giroscópicos obtidos através dos métodos descritos no capítulo anterior, com o azimuth astronômico determinado na estação por Azevedo [36] \*, pode-se verificar a precisão dos métodos e os valores de calibração do giroteodolito Wild GAK-1.

## 5.2 - Determinações com Métodos Rápidos

## 5.2.1 - Com Pontos de Elongação Máxima

## Exemplo 5.2.1

Método rápido com pontos de elongação máxima:

Instrumento: Wild T2 / GAK-1 / GKK-3 - 225566 / 19143 /  
20815.

Observador: Carlos Estação: CP-1 data: 11/12/1981 .

$A_A = 201^{\circ} 16' 28,6''$

---

(\*) Azimute Astronômico da Direção CP-1 - Mira 1  
igual a  $210^{\circ} 16' 28,6'' \pm 0,8''$  na convenção usual da astronomia  
de campo (do sul por oeste).

## LEITURAS HORIZONTAIS

$$u_1 = 349^{\circ} 45' 23,4''$$

$$u_2 = 324^{\circ} 46' 58,8''$$

$$N = \frac{1}{2} (u_1 + u_2)$$

$$N = 337^{\circ} 16' 11,1''$$

$$A_G = 360^{\circ} + L_m - N$$

$$A_G = 201^{\circ} 18' 04,9''$$

$$E = A_V - A_G$$

## LEITURAS À MIRA

$$PD = 178^{\circ} 34' 9,8''$$

$$PI = 358^{\circ} 34' 22,2''$$

$$L_m = \frac{PD + PI}{2} \pm 90^{\circ}$$

$$L_m = 178^{\circ} 34' 16''$$

$$E = -1' 36''$$

De maneira análoga ao exemplo acima foram efetuadas 54 observações com este método as quais são resumidas no quadro abaixo:

QUADRO 5.2.1 - Método Rápido com Pontos de Elongação Máxima.

| PERÍODO DE OBSERVAÇÃO      | NÚMERO DE OBSERVAÇÕES | CONSTANTE DE CALIBRAÇÃO E (Média) | m *        |
|----------------------------|-----------------------|-----------------------------------|------------|
| 27/07/1981<br>A 13/04/1982 | 54                    | $\pm 1' 49''$                     | $\pm 30''$ |

\* m = erro médio quadrático da média.

Em média o tempo para efetuar uma observação foi de 6 min e compreendia instalação, centragem, calagem, ligação, aceleração do giroscópio, observação de dois pontos de elongação máxima, desaceleração e guarda do equipamento.

Durante a realização dos trabalhos notou-se que a falta de atenção do operador, falta de concentração, fadiga visual, etc., foram responsáveis por resultados com grande desvio em relação à média; por exemplo a observação abaixo (rejeitada):

$$E = 8' 14'' \quad \text{desvio} = 6' 25''$$

A precisão obtida nesses experimentos encontra-se no intervalo preconizado em  $|^{37}|$ .

#### 5.2.2 - Com a determinação de um quarto do período de Oscilação do Giropêndulo.

##### Exemplo 5.2.2.a

Determinação do intervalo correspondente a um quarto do período de oscilação do giro-pêndulo.

Instrumento: Wild T2 / GAK-1 / GKK-3 : 225566 / 19145 / 20815 .

Observador : Carlos - Estação: CP-1 - Data: 05/04/1982

| i | $t_i$<br>min s | $1/2 T_{u_i}$<br>s | $1/4 T_{u_i}$<br>s |
|---|----------------|--------------------|--------------------|
| 1 | 3 09,4         | 186,0              | 93,0               |
| 2 | 6 15,4         | 189,4              | 94,7               |
| 3 | 9 24,8         | 185,3              | 92,6               |
| 4 | 12 30,1        | 189,3              | 94,6               |
| 5 | 15 39,4        | 185,6              | 92,8               |
| 6 | 18 45,0        | 189,0              | 94,5               |
| 7 | 21 54,0        |                    |                    |

$$1/4 T_u = 93,72 \text{ s} = 1 \text{ min } 33,7 \text{ s} \pm 0,4 \text{ s} .$$

Empregando-se a expressão (4.3.3.2) obtêm-se:

$$1/4 T_u = 1 \text{ min } 44,18 \text{ s}$$

A diferença encontrada entre os dois resultados é o valor correspondente à influência da torção na cinta de suspensão.

#### Exemplo 5.2.2.b

Método Rápido - Com utilização de um quarto do período de oscilação.

Instrumento: Wild T2 / GAK-1 / GKK-3; 225566 / 19145 / 20815.

Observador : Carlos - Estação CP-1 - Data 05/04/1982

$$N_A = 189^{\circ}55'25''$$

$$1/2 t = 43,7 \text{ s} \quad 1/4 T_u = 1 \text{ min } 44,2 \text{ s}$$

$$1/2 t + 1/4 T_u = 2 \text{ min } 27,9 \text{ s}$$

$$\text{direção lida; } N = 180^{\circ} 52' 14''$$

$$E = 9' 20''$$

Tempo necessário para a observação 4 minutos.

Embora tenham sido feitas poucas observações com este método a precisão das mesmas esteve dentro do intervalo preconizado em  $|^3|$ .

### 5.2.3 - Com a Determinação de Amplitude

#### Exemplo 5.2.3.a

##### Determinação da Constante Instrumental $C_1$

Instrumento : Wild T2 / GAK-1 / GKK-3: 225566 / 19145 / 20815.

Observador : Carlos - Estação: CP-1 - Data: 06/04/1982

$$N'_1 = 181^{\circ} 31' 33,6''$$

$$N'_2 = 180^{\circ} 31' 33,6''$$

$$a_{e1} = 6,6$$

$$a_{w1} = -11,8$$

$$a_{e2} = 10,9$$

$$a_{w2} = -6,0$$

$$C_1 = \frac{N'_1 - N'_2}{(a_{e2} + a_{w2}) - (a_{e1} + a_{w1})}$$

$$C_1 = 5,94'$$

Este valor é igual ao obtido por cálculo com o uso da (4.3.3.5).

#### Exemplo 5.2.3.b

##### Método Rápido das Amplitudes

Instrumento: Wild T2 / GAK-1 / GKK-3; 225566 / 19145 / 20815

Observador : Carlos - Estação: CP-1 - Data: 06/04/1982

$$A_A = 201^{\circ} 16' 28,6''$$

$$L_m = 22^{\circ} 16' 53,7''$$

$$N' = 180^{\circ} 21' 47''$$

$$a_e = +11,8 \quad a_w = -5,2 \quad C_1 = 5,94'$$

$$\Delta N = C_1 (a_e + a_w)$$

$$\Delta N = 39' 12,2''$$

$$N = N' + \Delta N$$

$$N = 181^{\circ} 00' 59,2''$$

$$A_G = 201^{\circ} 15' 54,4''$$

$$E = 34,2''$$

Tempo para observação: 6 minutos.

Embora tenhamos efetuados somente três determinações com este método, a precisão obtida se encontra no intervalo preconizado.

### 5.3 - Determinações Com Métodos Precisos

#### 5.3.1 - Com Pontos de Elongação Máxima

##### Exemplo 5.3.1

Método Preciso com Pontos de Elongação Máxima.

Instrumento: Wild T2 / GAK-1 / GKK-3: 225566 / 19145 / 20815.

Observador : Carlos - Estação: CP-1 - Data: 21/08/1981

Leituras à mira

PD:  $24^{\circ} 38' 45,6''$

PI:  $204^{\circ} 39' 04,9''$

$L_m = 24^{\circ} 38' 55,2''$



Observações:

| i  | $L_{d_i}$                | $L_{e_i}$                | $A_i$                     |
|----|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 1  |                          | $182^{\circ} 59' 34''$   |                           |
| 2  | $183^{\circ} 44' 53,3''$ |                          | $183^{\circ} 22' 16,37''$ |
| 3  |                          | $182^{\circ} 59' 44,9''$ | $183^{\circ} 22' 07,35''$ |
| 4  | $183^{\circ} 44' 06,3''$ |                          | $183^{\circ} 23' 00,95''$ |
| 5  |                          | $183^{\circ} 04' 06,3''$ | $183^{\circ} 23' 59,07''$ |
| 6  | $183^{\circ} 43' 37,4''$ |                          | $183^{\circ} 23' 20,02''$ |
| 7  |                          | $183^{\circ} 01' 59''$   | $183^{\circ} 22' 24,12''$ |
| 8  | $183^{\circ} 42' 01,1''$ |                          | $183^{\circ} 22' 02,57''$ |
| 9  |                          | $183^{\circ} 02' 09,1''$ | $183^{\circ} 21' 58,60''$ |
| 10 | $183^{\circ} 41' 35,1''$ |                          |                           |

$$N = 183^{\circ} 22' 38,6'' \pm 15''$$

$$A_G = 201^{\circ} 16' 16,6''$$

$$E = 12,0''$$

Tempo para observar o conjunto de 10 pontos: 45 min.

De maneira similar ao exemplo acima foram efetuadas 44 observações as quais são apresentadas no quadro 5.3.1.a

Em 09/03/1982, o autor, seguindo especificações contidas no manual do fabricante [39], efetuou a regulagem do equilíbrio da cinta da suspensão. Desse fato aconteceu uma mudança no valor de calibração do giroscópio.

No quadro 5.3.1.b são resumidas as 44 observações.

## QUADRO 5.3.1.a

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS  
DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE DE CALIBRAÇÃO DO GYROTEODOLITO WILD GAK1  
MÉTODO DAS ELONGAÇÕES MÁXIMAS  
TEODOLITO NO - 225566 GYROSCOPIO NO - 19143  
ESTACAO: CP1 - CENTRO POLITECNICO - UFP  
AZIMUTE ASTRONÓMICO: CP1-MIRA1 = 21G 16M 28,61S SW

| OBS<br>NO | DATA<br>DIA MES ANO | LEITURA MIRA<br>GRAU MIN SEG | MEL SCHULER<br>GRAU MIN SEG | ERMEGUA<br>SEGUNDO | AZIM GYROSCO<br>GRAU MIN SEG | CONSTANTE<br>SEGUNDOS |
|-----------|---------------------|------------------------------|-----------------------------|--------------------|------------------------------|-----------------------|
| 1         | 18 8 1981           | 171 2 38.81                  | 329 47 5.18                 | 10.659             | 201 15 33.63                 | 54.9797               |
| 2         | 19 8 1981           | 351 37 14.69                 | 150 21 3.75                 | 2.828              | 201 16 11.14                 | 17.4683               |
| 3         | 21 8 1981           | 24 38 55.25                  | 183 22 38.64                | 15.394             | 201 16 16.61                 | 12.4620               |
| 4         | 2 9 1981            | 31 25 43.55                  | 190 9 57.08                 | 2.942              | 201 15 46.47                 | 42.1394               |
| 5         | 9 9 1981            | 23 7 26.30                   | 181 51 12.16                | 4.810              | 201 16 14.14                 | 14.4745               |
| 6         | 11 9 1981           | 29 6 56.50                   | 187 50 57.69                | 7.128              | 201 15 58.82                 | 29.7935               |
| 7         | 15 9 1981           | 23 42 9.20                   | 182 26 55.26                | 10.701             | 201 15 13.94                 | 74.6727               |
| 8         | 16 9 1981           | 26 15 39.05                  | 184 59 32.53                | 2.252              | 201 16 6.52                  | 22.0894               |
| 9         | 28 9 1981           | 23 46 4.05                   | 182 29 56.88                | 2.647              | 201 16 5.17                  | 23.4421               |
| 10        | 29 9 1981           | 201 34 29.55                 | 360 18 7.77                 | 3.763              | 201 16 21.78                 | 6.8321                |
| 11        | 30 9 1981           | 198 51 14.70                 | 357 35 23.08                | 5.298              | 201 15 51.62                 | 36.9896               |
| 12        | 5 10 1981           | 297 42 38.55                 | 90 26 51.16                 | 4.757              | 201 15 47.49                 | 41.1232               |
| 13        | 6 10 1981           | 352 43 2.41                  | 151 28 8.59                 | 3.080              | 201 14 53.81                 | 94.7983               |
| 14        | 8 10 1981           | 120 19 24.20                 | 279 5 12.53                 | 5.835              | 201 14 11.67                 | 136.9440              |
| 15        | 16 10 1981          | 66 49 20.85                  | 227 33 2.83                 | 2.049              | 201 16 18.02                 | 10.5881               |
| 16        | 27 10 1981          | 170 9 39.00                  | 336 53 23.71                | 3.508              | 201 16 16.09                 | 12.5175               |
| 17        | 30 10 1981          | 174 39 7.56                  | 333 23 16.79                | 3.900              | 201 15 50.77                 | 37.8410               |
| 18        | 4 11 1981           | 170 50 7.00                  | 335 34 5.97                 | 10.672             | 201 16 1.03                  | 27.5820               |
| 19        | 3 11 1981           | 171 53 44.65                 | 330 37 43.05                | 7.158              | 201 16 1.61                  | 27.0058               |
| 20        | 5 11 1981           | 175 59 21.40                 | 334 43 8.24                 | 6.129              | 201 16 13.16                 | 15.4564               |
| 21        | 6 11 1981           | 174 17 57.95                 | 333 1 29.88                 | 4.742              | 201 16 28.07                 | 0.5424                |
| 22        | 12 11 1981          | 172 28 5.60                  | 331 12 8.13                 | 11.911             | 201 15 57.47                 | 31.1394               |
| 23        | 16 11 1981          | 177 39 18.65                 | 336 23 6.32                 | 2.209              | 201 16 12.33                 | 16.2604               |

(continua)

## QUADRO 5.3.1.b - (continuação)

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS  
DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE DE CALIBRAÇÃO DO GIRETEODOLITO WILD GAK1  
MÉTODO DAS ELONGAÇÕES MÁXIMAS  
TEODOLITO NO - 225566 GIRESCOPIO NO - 19143  
ESTACAO: CP1 - CENTRO POLITECNICO - UFP  
AZIMUTE ASTRONÔMICO: CP1-MIRA1 = 21G 16M 28,61S SW

| OBS<br>NO | DATA<br>DIA MES ANO | LEITURA MIRA<br>GRAU MIN SEG | FEE SCHULER<br>GRAU MIN SEG | ERMEGUA<br>SEGUNDO | AZIM GIRESCO<br>GRAU MIN SEG | CONSTANTE<br>SEGUNDOS |
|-----------|---------------------|------------------------------|-----------------------------|--------------------|------------------------------|-----------------------|
| 24        | 27 11 1981          | 183 52 58.40                 | 342 36 49.71                | 0.983              | 201 16 8.69                  | 19.9190               |
| 25        | 1 12 1981           | 178 38 2.20                  | 337 21 51.93                | 2.736              | 201 16 10.27                 | 18.3403               |
| 26        | 11 12 1981          | 178 34 16.01                 | 337 18 8.31                 | 3.509              | 201 16 7.70                  | 20.9084               |
| 27        | 18 12 1981          | 193 38 26.60                 | 352 22 15.26                | 1.726              | 201 16 11.34                 | 17.2760               |
| 28        | 9 3 1982            | 194 9 41.85                  | 352 52 11.60                | 4.815              | 201 17 30.25                 | -61.6402              |
| 29        | 12 3 1982           | 216 58 56.16                 | 15 41 13.68                 | 2.005              | 201 17 42.47                 | -73.8625              |
| 30        | 15 3 1982           | 60 57 48.55                  | 219 40 11.99                | 2.333              | 201 17 36.56                 | -67.9504              |
| 31        | 15 3 1982           | 280 45 0.91                  | 79 26 23.67                 | 9.906              | 201 18 37.24                 | -128.6293             |
| 32        | 16 3 1982           | 62 58 3.20                   | 221 39 32.46                | 8.280              | 201 18 30.75                 | -122.1336             |
| 33        | 16 3 1982           | 17 20 17.10                  | 176 2 46.74                 | 2.557              | 201 17 30.36                 | -61.7500              |
| 34        | 16 3 1982           | 154 39 31.01                 | 313 20 30.04                | 7.594              | 201 19 0.96                  | -152.3529             |
| 35        | 16 3 1982           | 242 44 41.70                 | 41 27 10.70                 | 7.341              | 201 17 31.00                 | -62.3886              |
| 36        | 17 3 1982           | 118 9 46.45                  | 276 51 59.03                | 2.602              | 201 17 47.42                 | -78.8063              |
| 37        | 17 3 1982           | 177 56 50.90                 | 336 39 20.26                | 1.773              | 201 17 30.64                 | -62.0247              |
| 38        | 20 3 1982           | 177 21 9.25                  | 336 2 50.69                 | 3.198              | 201 18 18.56                 | -109.9525             |
| 39        | 23 4 1982           | 306 32 0.90                  | 107 14 32.21                | 3.465              | 201 17 28.69                 | -60.0615              |
| 40        | 26 4 1982           | 6 47 43.55                   | 159 30 23.83                | 5.267              | 201 17 19.73                 | -51.1139              |
| 41        | 27 4 1982           | 53 4 6.90                    | 211 46 35.79                | 2.040              | 201 17 31.11                 | -62.4985              |
| 42        | 20 5 1982           | 53 22 30.25                  | 212 5 2.91                  | 1.694              | 201 17 27.35                 | -58.7357              |
| 43        | 7 6 1982            | 173 44 26.66                 | 332 26 49.51                | 2.127              | 201 17 37.15                 | -68.5341              |
| 44        | 7 6 1982            | 232 4 11.90                  | 30 46 40.52                 | 1.114              | 201 17 31.38                 | -62.7663              |

### Quadro 5.3.1.b

#### Método Preciso - Com Pontos de Elongação Máxima

| ANO  | Nº DE OBS. | E"    | m*          | M*         |
|------|------------|-------|-------------|------------|
| 1981 | 27         | 32,0  | $\pm 5,6''$ | $\pm 29''$ |
| 1982 | 17         | -79,1 | $\pm 7,2''$ | $\pm 30''$ |

(\*) m = erro médio quadrático da média de Schuler.

M = erro médio quadrático de uma observação isolada de Schuler.

Essa precisão encontra-se no intervalo preconizado  $|4^0|$ .

O autor efetuou 10 testes utilizando 16 e 20 pontos de elongação máxima. Tomou três destes como exemplo para apresentar em forma dos gráficos (5.3.1a, 5.3.1.b, 5.3.1.c.).

Estes testes parecem indicar que o número ideal de pontos de elongação máxima se situa ao redor de 10 observações. Aumentando o número de pontos o erro médio quadrático, ou permanece constante, ou então, por fadiga visual do observador aumenta.

### 5.3.2 - Método das Passagens

#### Exemplo 5.3.2.a

#### Constante de Proporcionalidade C

Instrumento: Wild T2 / GAK-1 / GKK-3; 225566 / 19145 / 20815

Observador : Carlos - Estação: CP-1 -  $\phi = 25^0 26' 56''$  S

Data: 29/05/1981

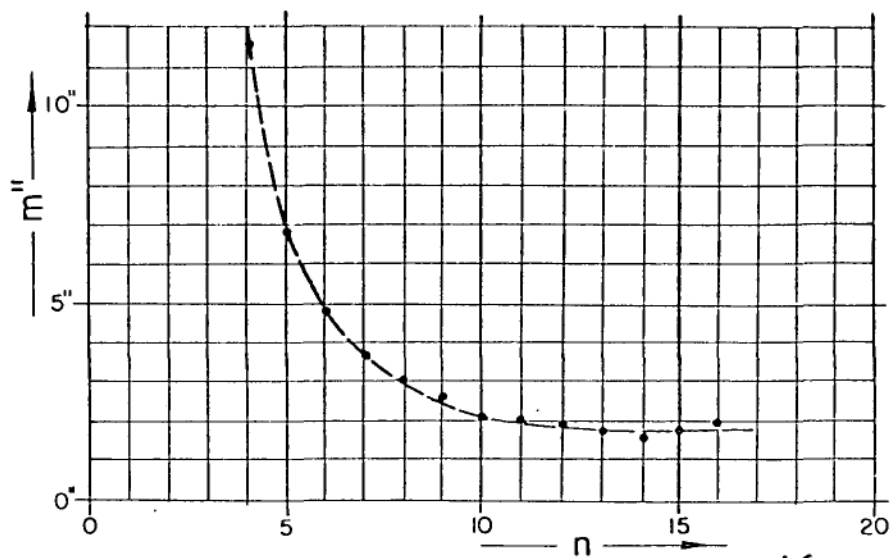


Gráfico 5.3.1a

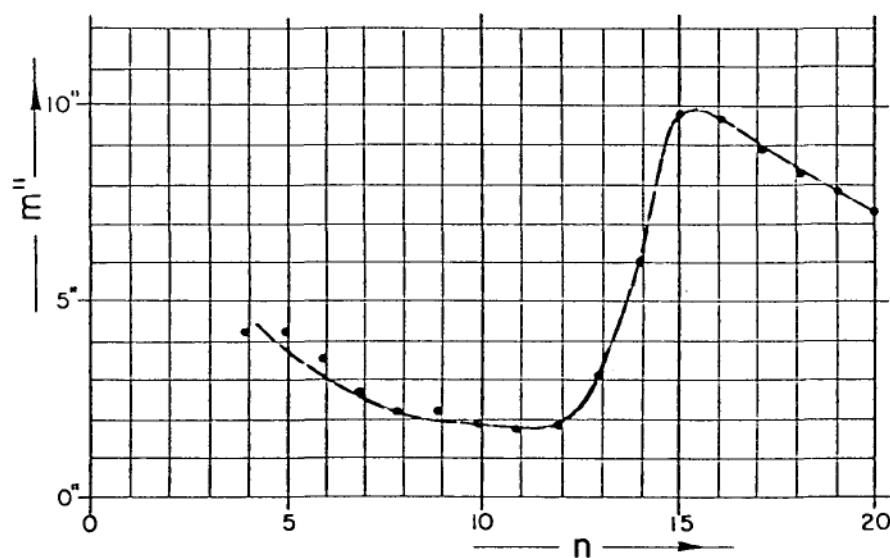


Gráfico 5.3.1b

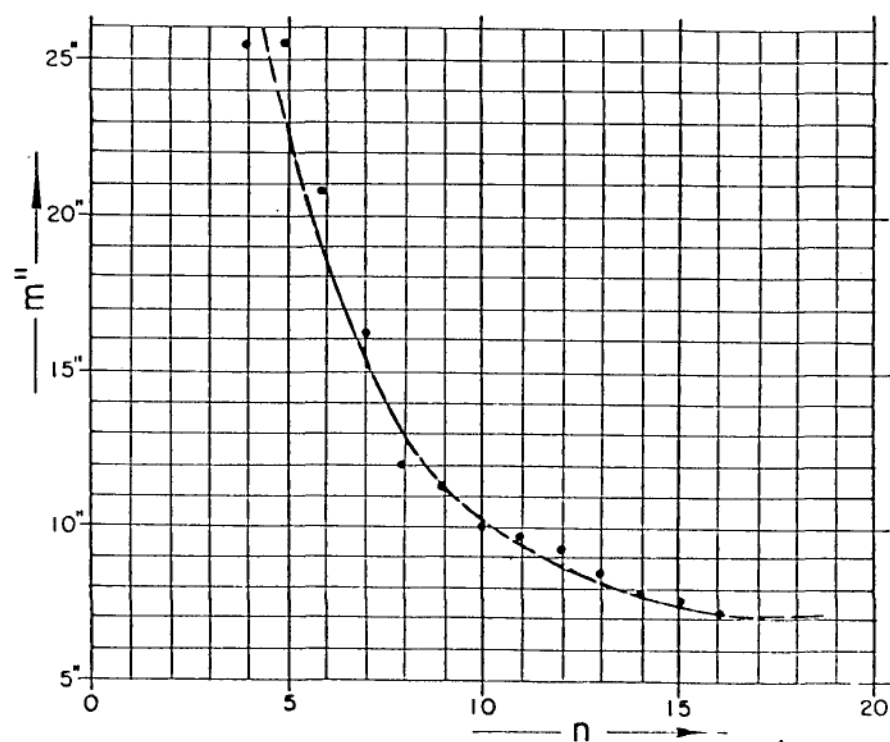


Gráfico 5.3.2c

Observação :

$n$  = número de pontos de elongação máxima

$m$  = erro médio quadrático da média de Schuler

$$N_1' = 330^{\circ} 35' 14,8''$$

$$N_2' = 331^{\circ} 05' 14,8''$$

| i | $t_i$ |      | $t_{u_i}$ |      | $\Delta t_i$ | a            |
|---|-------|------|-----------|------|--------------|--------------|
|   | min   | s    | min       | s    | s            |              |
| 1 | 2     | 54,1 | +3        | 20,7 | +26,5        | +12,3        |
| 2 | 6     | 14,8 | -2        | 54,2 | <u>+25,8</u> | - 9,8        |
| 3 | 9     | 9,0  | +3        | 20,0 | 26,15        | <u>+12,4</u> |
| 4 | 12    | 29,0 |           |      |              | 11,075       |
| 5 | 15    | 33,2 | +2        | 53,5 | -25,5        | +10,2        |
| 6 | 18    | 26,7 | -3        | 19,0 | <u>-26,2</u> | -12,4        |
| 7 | 21    | 45,7 | +2        | 52,8 | -25,85       | <u>+10,2</u> |
| 8 | 24    | 38,5 |           |      |              | 11,3         |

$$C = \frac{N_1 - N_2}{\Delta T_2 a_2 - \Delta T_1 a_1}$$

$$C = \frac{30'}{26,15 \times 11,075 - (-25,85 \times 11,3)}$$

$$C = 0,51771'/s = 3,09429''/s$$

De maneira similar a este exemplo efetuou-se dez determinações da constante de proporcionalidade C as quais são mostradas no quadro 5.3.2.a .

Quadro 5.3.2.a Constante de Proporcionalidade C

| Nº | DATA           | C ("/s) |
|----|----------------|---------|
| 01 | 29 / 05 / 1981 | 3,09043 |
| 02 | 16 / 10 / 1981 | 2,98021 |
| 03 | 27 / 11 / 1981 | 2,99466 |
| 04 | 29 / 03 / 1982 | 3,01672 |
| 05 | 29 / 03 / 1982 | 2,97479 |
| 06 | 01 / 04 / 1982 | 3,01565 |
| 07 | 01 / 04 / 1982 | 3,12067 |
| 08 | 02 / 04 / 1982 | 3,06076 |
| 09 | 02 / 04 / 1982 | 3,04648 |
| 10 | 02 / 04 / 1982 | 3,01828 |

Foi adotado o valor da média destes valores em nossos trabalhos:

$$C = 3,03186 \text{ "/s} \pm 0,01504 \text{ "/s}$$

Sõ tem significância o valor  $C = 3,031 \text{ "/s}$

Exemplo 5.3.2.b

Método das Passagens

Instrumento: Wild T2 / GAK-1 / GKK-3; 225566 / 19145 / 20815

Observador : Carlos - Estação: CP-1 - Data: 07/06/1982

$$A_A = 201^{\circ} 16' 28,6''$$

$$C = 3,03186 \text{ "/s}$$

Visadas a Mira

$$PD: 173^{\circ} 44' 17,4''$$

$$PI: 353^{\circ} 44' 36,8''$$

$$L_m = 173^{\circ} 44' 27,1''$$

## Observações no giropêndulo:

| i | $t_i$   | $T_{u_i}$ | $\Delta T_i$ | $a_i$ |
|---|---------|-----------|--------------|-------|
|   | min s   | min s     | s            |       |
| 1 | 3 5,3   | -3 9,5    | -4,1         | -6,1  |
| 2 | 6 14,8  | +3 5,4    | -4,2         | +6,0  |
| 3 | 9 20,2  | -3 9,6    | -4,2         |       |
| 4 | 12 29,8 | +3 5,4    |              |       |
| 5 | 15 35,2 |           |              |       |

$$\Delta T = -4,17 \text{ s} \quad a = 6,05 \quad N' = 332^{\circ} 27' 58,3''$$

$$\Delta N = -76,43''$$

$$N = 332^{\circ} 26' 41,9''$$

$$A_G = 201^{\circ} 17' 45,2''$$

$$E = -76,6''$$

Desta mesma maneira foram efetuadas 50 observações com este método. O quadro 5.3.2.b mostra os resultados obtidos; no 5.3.2.c estas são resumidas

## Quadro 5.3.2.c

## Método das Passagens

| ANO  | Nº DE OBS. | E''   | m           | M          |
|------|------------|-------|-------------|------------|
| 1981 | 36         | 32,3  | $\pm 4,0''$ | $\pm 24''$ |
| 1982 | 14         | -65,5 | $\pm 7,8''$ | $\pm 29''$ |

A precisão obtida com estas experiências encontra-se no intervalo preconizado na literatura  $|^{41}|$  e  $|^{42}|$ .

O tempo necessário para uma determinação com 5 passagens ficou em 30 minutos em média.



## QUADRO 5.3.2.b

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS  
DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE DE CALIBRAÇÃO DO GIRCITEODOLITO WILD GAK1  
MÉTODO DAS PASSAGENS  
TEODOLITO - 225566 GIRCSCOPIO - 19143  
ESTAÇÃO CP1 - CENTRO POLITÉCNICO - UFP  
AZIMUTE ASTRONÔMICO CP1-MIRAI 21G 16M 28,61S SW  
CONSTANTE DE PROPORCIONALIDADE C=3,03186"/S

| OBS<br>NO | DATA |     |      | LEITURA MIRA |     |       | CPIT GIROSC |     |       | AZIM GIROSCO |     |       | CONSTANTE<br>SEGUNDOS |
|-----------|------|-----|------|--------------|-----|-------|-------------|-----|-------|--------------|-----|-------|-----------------------|
|           | DIA  | MES | ANO  | GRAU         | MIN | SEG   | GRAU        | MIN | SEG   | GRAU         | MIN | SEG   |                       |
| 1         | 7    | 8   | 1981 | 220          | 35  | 24.00 | 19          | 20  | 39.38 | 201          | 14  | 44.62 | 103.9925              |
| 2         | 7    | 8   | 1981 | 348          | 16  | 44.49 | 147         | 0   | 17.75 | 201          | 16  | 26.74 | 1.6677                |
| 3         | 19   | 8   | 1981 | 351          | 36  | 56.55 | 150         | 20  | 50.52 | 201          | 16  | 0.03  | 22.5838               |
| 4         | 20   | 8   | 1981 | 166          | 20  | 21.41 | 325         | 4   | 0.43  | 201          | 16  | 12.98 | 15.6349               |
| 5         | 21   | 8   | 1981 | 24           | 28  | 59.80 | 163         | 13  | 22.11 | 201          | 15  | 37.69 | 50.9216               |
| 6         | 9    | 9   | 1981 | 23           | 6   | 57.40 | 181         | 50  | 54.80 | 201          | 16  | 2.60  | 26.0101               |
| 7         | 10   | 9   | 1981 | 25           | 11  | 46.00 | 183         | 55  | 40.65 | 201          | 16  | 5.16  | 23.4558               |
| 8         | 15   | 9   | 1981 | 23           | 45  | 3.30  | 182         | 29  | 31.26 | 201          | 15  | 32.04 | 56.5727               |
| 9         | 15   | 9   | 1981 | 23           | 42  | 9.20  | 182         | 25  | 57.21 | 201          | 16  | 11.99 | 16.0168               |
| 10        | 16   | 9   | 1981 | 26           | 15  | 39.05 | 184         | 59  | 35.65 | 201          | 16  | 3.40  | 25.2136               |
| 11        | 17   | 9   | 1981 | 25           | 35  | 29.10 | 184         | 20  | 1.63  | 201          | 15  | 27.47 | 61.1389               |
| 12        | 18   | 9   | 1981 | 19           | 10  | 49.80 | 177         | 54  | 44.15 | 201          | 16  | 5.65  | 22.9614               |
| 13        | 28   | 9   | 1981 | 23           | 44  | 4.05  | 182         | 27  | 50.64 | 201          | 16  | 13.20 | 15.3946               |
| 14        | 28   | 9   | 1981 | 23           | 44  | 4.05  | 182         | 28  | 26.34 | 201          | 15  | 37.71 | 50.9010               |
| 15        | 29   | 9   | 1981 | 201          | 34  | 29.55 | 0           | 18  | 55.53 | 201          | 15  | 34.02 | 54.5883               |
| 16        | 29   | 9   | 1981 | 201          | 34  | 29.55 | 0           | 18  | 57.11 | 201          | 15  | 32.44 | 56.1745               |
| 17        | 30   | 9   | 1981 | 198          | 51  | 14.70 | 357         | 35  | 24.84 | 201          | 15  | 49.86 | 36.7474               |
| 18        | 30   | 9   | 1981 | 198          | 52  | 40.95 | 357         | 36  | 32.39 | 201          | 16  | 8.56  | 20.0500               |
| 19        | 3    | 10  | 1981 | 259          | 0   | 32.30 | 57          | 44  | 31.54 | 201          | 16  | 0.76  | 27.8503               |
| 20        | 5    | 10  | 1981 | 297          | 42  | 38.65 | 96          | 26  | 51.94 | 201          | 15  | 40.71 | 41.9060               |
| 21        | 6    | 10  | 1981 | 291          | 36  | 29.70 | 90          | 20  | 8.06  | 201          | 16  | 21.64 | 6.9695                |
| 22        | 6    | 10  | 1981 | 352          | 43  | 2.41  | 151         | 27  | 44.29 | 201          | 15  | 18.11 | 70.4979               |

(continua)

## QUADRO 5.3.2.b - (continuação)

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
CURSO DE POS-GRADUACAO EM CIENCIAS GEODESICAS  
DETERMINACAO DA CONSTANTE DE CALIBRACAO DO GIROTEODOLITO WILD GAK1  
METODO DAS PASSAGENS  
TEODOLITO - 225566 GIROSCOPIO - 19143  
ESTACAO CP1 - CENTRO POLITECNICO - UFP  
AZIMUTE ASTRONOMICO CP1-MIFA1 21G 16M 28,61S SW  
CONSTANTE DE PROPORCIONALIDADE C=3,03186"/S

| OBS<br>NO | DATA<br>DIA MES ANO | LEITURA MIFA<br>GRAU MIN SEG | CRIT GIROSC<br>GRAU MIN SEG | AZIM GIROSCO<br>GRAU MIN SEG | CONSTANTE<br>SEGUNDOS |
|-----------|---------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------|
| 23        | 8 10 1981           | 120 19 24.20                 | 279 3 30.73                 | 201 15 53.47                 | 35.1425               |
| 24        | 16 10 1981          | 68 49 21.00                  | 227 33 2.26                 | 201 16 18.74                 | 9.6740                |
| 25        | 27 10 1981          | 178 9 43.00                  | 336 54 52.90                | 201 14 50.10                 | 98.5130               |
| 26        | 29 10 1981          | 173 42 30.05                 | 332 26 38.24                | 201 15 51.81                 | 36.7973               |
| 27        | 30 10 1981          | 174 39 7.54                  | 333 23 4.81                 | 201 16 2.73                  | 25.6797               |
| 28        | 30 10 1981          | 174 39 7.56                  | 333 22 46.82                | 201 16 20.74                 | 7.6758                |
| 29        | 4 11 1981           | 176 50 9.90                  | 335 34 26.39                | 201 15 43.51                 | 45.1057               |
| 30        | 3 11 1981           | 171 53 38.95                 | 336 37 32.35                | 201 16 6.60                  | 22.0070               |
| 31        | 6 11 1981           | 174 17 59.60                 | 333 2 23.12                 | 201 15 36.47                 | 52.1370               |
| 32        | 13 11 1981          | 176 16 4.35                  | 334 59 36.67                | 201 16 27.68                 | 0.9270                |
| 33        | 16 11 1981          | 177 39 14.40                 | 336 23 11.67                | 201 16 2.73                  | 25.6797               |
| 34        | 27 11 1981          | 183 52 54.90                 | 342 37 25.34                | 201 15 29.56                 | 59.0515               |
| 35        | 1 12 1981           | 178 38 2.20                  | 337 21 55.01                | 201 16 7.20                  | 21.4165               |
| 36        | 11 12 1981          | 178 34 11.60                 | 337 18 2.77                 | 201 16 8.83                  | 19.7823               |
| 37        | 20 3 1982           | 177 21 9.25                  | 336 2 49.33                 | 201 18 19.92                 | -111.3121             |
| 38        | 10 4 1982           | 315 49 4.40                  | 114 31 45.69                | 201 17 18.72                 | -50.1045              |
| 39        | 10 4 1982           | 262 2 24.55                  | 60 44 56.43                 | 201 17 28.12                 | -59.5116              |
| 40        | 13 4 1982           | 50 17 38.50                  | 209 0 30.71                 | 201 17 7.79                  | -39.1800              |
| 41        | 13 4 1982           | 310 20 8.61                  | 109 1 37.62                 | 201 18 30.99                 | -122.3808             |
| 42        | 13 4 1982           | 99 22 4.25                   | 258 4 46.77                 | 201 17 17.48                 | -48.8686              |
| 43        | 13 4 1982           | 177 35 30.65                 | 336 18 6.16                 | 201 17 24.48                 | -55.6723              |
| 44        | 17 4 1982           | 220 33 17.00                 | 19 15 37.08                 | 201 17 39.91                 | -71.3013              |

(continua)

## QUADRO 5.3.2.b - (continuação)

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
 CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS  
 DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE DE CALIBRAÇÃO DO GIRETEODOLITO WILD GAK1  
 MÉTODO DAS PASSAGENS  
 TEODOLITO - 225566 GIRESCOPIO - 19143  
 ESTAÇÃO CPI - CENTRO POLITÉCNICO - UFP  
 AZIMUTE ASTRONÔMICO CPI-FIRA1 21G 16M 28,61S SW  
 CONSTANTE DE PROPORCIONALIDADE C=3,03186"/S

| OBS | DATA |     |      | LEITURA MIRA |     |       | CRIT GIROSC |     |       | AZIM GIROSCU |     |       | CONSTANTE |
|-----|------|-----|------|--------------|-----|-------|-------------|-----|-------|--------------|-----|-------|-----------|
| NO  | DIA  | MES | ANO  | GRAU         | MIN | SEG   | GRAU        | MIN | SEG   | GRAU         | MIN | SEG   | SEGUNDOS  |
| 45  | 17   | 4   | 1982 | 244          | 54  | 36.40 | 43          | 37  | 25.41 | 201          | 17  | 12.98 | -44.3710  |
| 46  | 17   | 4   | 1982 | 198          | 54  | 41.65 | 357         | 37  | 20.03 | 201          | 17  | 21.62 | -53.2090  |
| 47  | 17   | 4   | 1982 | 264          | 58  | 35.50 | 63          | 41  | 51.53 | 201          | 16  | 43.97 | -15.3603  |
| 48  | 17   | 4   | 1982 | 315          | 56  | 9.60  | 114         | 38  | 31.82 | 201          | 17  | 37.78 | -69.1727  |
| 49  | 19   | 4   | 1982 | 334          | 36  | 30.10 | 133         | 18  | 21.90 | 201          | 18  | 8.20  | -99.5842  |
| 50  | 7    | 6   | 1982 | 173          | 44  | 27.11 | 332         | 26  | 41.88 | 201          | 17  | 45.23 | -76.6228  |

#### 5.4 - Calibração do Giroteodolito Wild GAK-1

A calibração do giroteodolito Wild GAK-1 consiste na determinação dos seguintes valores: a constante de proporcionalidade  $C$  e a constante de calibração  $E$ .

A constante de proporcionalidade como foi visto depende da latitude da estação, e sugerimos que sejam feitas pelo menos duas determinações para uma dada região onde os trabalhos sejam processados.

A constante de calibração pode ser determinada no início e no final de cada trabalho.

Tomamos como exemplo a calibração efetuada pelo autor com o giroteodolito Wild GAK-1 de propriedade da empresa Aerodatta Aerofotogrametria Consultoria S/A.

##### Quadro 5.4.1

Certificado de Calibração - Giroteodolito Wild GAK-1.

Instrumento: Wild T2 / GAK-1 / GKK-3; 16338 / 11488 / 2893

Estação: CP-1

a) Constante de Proporcionalidade

| DATA       | $C ("/s)$ |
|------------|-----------|
| 21/05/1982 | 3,11214   |
| 21/05/1982 | 3,11051   |
| 21/05/1982 | 3,12859   |
| 22/05/1982 | 3,09088   |

Valor adotado:  $C = 3,11053 \text{ "/s} \pm 0,00567 \text{ "/s}$

## b) Constante de Calibração E

| Nº | DATA       | MÉTODO | E         |
|----|------------|--------|-----------|
| 01 | 21/05/1982 | P      | 1' 45,73" |
| 02 | 21/05/1982 | EM     | 1' 51,6"  |
| 03 | 22/05/1982 | EM     | 1' 44,32" |
| 04 | 22/05/1982 | EM     | 1' 20,1"  |
| 05 | 22/05/1982 | P      | 1' 23,65" |
| 06 | 22/05/1982 | P      | 1' 29,04" |
| 07 | 22/05/1982 | P      | 1' 54,03" |
| 08 | 25/05/1982 | EM     | 1' 51,03" |
| 09 | 25/05/1982 | EM     | 1' 47,45" |

P : Método das Passagens

EM: Método Preciso com Pontos de Elongação Máxima

Valor adotado:

$$E = 1' 40,8" \pm 4,3"$$

## CAPÍTULO VI

## CONCLUSÕES

## a) Operação do giroteodolito

Embora não tenhamos operado outro tipo de giroteodolito, achamos que o GAK-1 é de fácil instalação e operação.

## b) Prê-orientação para métodos precisos

O método grosseiro com a utilização de um quarto do período de oscilação, além de depender deste valor, determinado a priori, exige muita habilidade do operador (observar a marca e o cronômetro ao mesmo tempo).

O método grosseiro da amplitude, depende da constante de proporcionalidade  $C_1$ . A habilidade exigida para ler a amplitude do giropêndulo o torna dificultoso.

Entretanto, o método grosseiro com pontos de elongação máxima, por ser fácil, rápido e atingir a precisão desejada com dois pontos, é o que sugerimos como prê-orientação para os métodos precisos.

## c) Métodos precisos para determinação do meridiano

No que concerne à precisão os dois métodos precisos, por nós analisados, revelaram-se igualmente eficientes; o mesmo se verificando com a parte operacional, razão pela qual recomendamos a utilização de ambos (um e/ou outro).

Para o método com pontos de elongação máxima recomendamos que sejam observados em tórno de 10 pontos.

Para o método das passagens sugerimos que a constante

de proporcionalidade seja determinada pelo menos duas vezes e que a média seja adotada para uma região. Sugerimos que sejam observadas em torno de 5 passagens e que a amplitude média se situe ao redor de aproximadamente 10 unidades da escala auxiliar.

#### d) Constante de Calibração

Pelo que vimos, nas observações efetuadas, sugerimos que a constante de calibração seja determinada regularmente; de preferência antes e após um trabalho de campo. A média deve ser adotada no cálculo do azimute verdadeiro.

#### e) Utilização dos giroteodolitos

Em que pese a falta de tradição do uso cartográfico dos giroteodolitos no Brasil, essa prática pode ser recomendada em muitos problemas de topografia tanto de superfície como subterrânea.

## NOTAS DE REFERÊNCIA

|<sup>01</sup>| LAUF, G.B. The early history of the gyroscope and giro compass. The Canadian Surveyor, Ottawa, (24):86, 1970.

|<sup>02</sup>| \_\_\_\_\_. The gyrotheodolite and its application in the mining industry of South Africa. Journal of the South Africa Institute of Mining and Metallurgy, Johannesburg: 352, March 1963.

|<sup>03</sup>| Ibid, p. 351 .

|<sup>04</sup>| FREITAS, S.C. Posicionadores inerciais. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, 1980. 170p.

|<sup>05</sup>| DEIMEL, R.F. Mechanics of the gyroscope. 2 ed. Londres, Dover, 1950. 192p.

|<sup>06</sup>| ARNOLD, R.N. & MAUNDER L. Gyrodynamics and its engineering applications. New York, Academic Press, 1961. 484p.

|<sup>07</sup>| JEUDY, L.M.A. Theorie du girocompass suspendu. Manuscripta Geodaetica, 75 (6): 75 - 122, 1981.

|<sup>08</sup>| SCARBOROUGH, J.B. The gyroscope theory and applications. New York, Interscience Publishers, Inc, 1958. 257p.

|<sup>09</sup>| LAUF, G.B. The gyrotheodolite ...,p.358.

|<sup>10</sup>| FREITAS, S.C. p.25.

|<sup>11</sup>| SCHWENDENER, H.R. Procedimientos y resultados de la determinación del norte accesorio giroscópio de teodolitos. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten, (4): 3, abril 1966.

|<sup>12</sup>| Ibid, p.3.

|<sup>13</sup>| Ibid, p.3.

|<sup>14</sup>| Ibid, p.3.

|<sup>15</sup>| Ibid, p.4.

|<sup>16</sup>| Ibid, p.4.

|<sup>17</sup>| Ibid, p.4.



|<sup>18</sup>| Ibid, p.5.

|<sup>19</sup>| GIROSCÓPO WILD GAK-1; instrucciones para el empleo. Heerbrugg, Wild, s.d, p. 21.

|<sup>20</sup>| WILLIAMS, H.S. & BELLING, G.E. The reduction of gyro-theodolite observations, Survey Review, 19 (145): 184, October 1967.

|<sup>21</sup>| Ibid, p.185.

|<sup>22</sup>| Ibid, p.185.

|<sup>23</sup>| SCHWENDENER, H.R. p.6 .

|<sup>24</sup>| Ibid, p.6 .

|<sup>25</sup>| Ibid, p.7 .

|<sup>26</sup>| Ibid, p.7 .

|<sup>27</sup>| STRASSER, G.J. & SCHWENDENER, H.R. A north seeking gyro attachment for the theodolite as a new aid to the surveyor. Heerbrugg, Wild, 1964, p.11.

|<sup>28</sup>| SCHWENDENER, H.R. p.4 .

|<sup>29</sup>| Ibid, p.7 .

|<sup>30</sup>| Ibid, p.7 .

|<sup>31</sup>| Ibid, p.8 .

|<sup>32</sup>| Ibid, p.8 .

|<sup>33</sup>| HODGES, D.J. & BROWN J. K-factor drift rates in suspended gyroscopes. Separata de: The Mining Engineer, June 1976, p.542.

|<sup>34</sup>| Ibid, p.541 .

|<sup>35</sup>| Ibid, p.542 .

|<sup>36</sup>| CAMPOS, M.A., Análise e comparação dos resultados de observações obtidas com teodolitos Wild T2 e T4 para determinação da latitude de segunda ordem, Curitiba, Universidade Federal do Paraná, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, 1979, p.27 .

| <sup>37</sup> | SCHWENDENER, p.3 .

| <sup>38</sup> | Ibid, p.3 .

| <sup>39</sup> | GIROSCÓPO ..., p.31-2

| <sup>40</sup> | SCHWENDENER, p.6 ,

| <sup>41</sup> | Ibid, p, 7 .

| <sup>42</sup> | GIROSCÓPO ..., p.7 .

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARNOLD, R.N. & MAUNDER L. Gyrodynamics and its engineering applications. New York, Academic Press, 1961. 484p.
- CAMPOS, M.A. Análise e comparação dos resultados de observações com teodolitos Wild T2 e T4 para determinação da latitude de segunda ordem. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, 1979. 126p .
- DEIMEL, R.F. Mechanics of the gyroscope. 2 ed. Londres, Dover, 1950. 192p.
- FREITAS, S.C. Posicionadores inerciais. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, 1980. 170p .
- GIROSCÓPO WILD GAK-1; instrucciones para el empleo. Heerbrugg, Wild, s.d. 37p.
- HODGES, D.J. & BROWN J. K-factor drift rates in suspended gyroscopes. Separata de; The Mining Engineer, June 1976. p.541-8 .
- JEUDY, L.M.A. Theorie du gyrocompas suspendu. Manuscripta Geodaetica, 75 (6): 75-122, 1981 .
- LAUF, G.B. The early history of the gyroscope and gyro compass The Canadian Surveyor, Ottawa, (24): 86-89. 1970.
- \_\_\_\_\_. The gyrotheodolite and its application in the mining industry of South Africa. Journal of the South Africa Institute of Mining and Metallurgy, Johannesburg: 349-386, March 1963
- SCARBOROUGH, J.B. The gyroscope theory and applications. New York, Interscience Publishers, Inc., 1958. 257p.
- SCHWENDENER, H.R. Procedimientos y resultados de la determinación del nort accesorio giroscópico de teodolitos. Allgemeine

Vermessungs-Nachrichten, (4): 1-8, abril 1966.

STRASSER, G.J. & SCHWENDENER, H.R. A north-seeking gyro attachment for the theodolite, as a new aid to the surveyor. Heerbrugg, Wild, 1964. 17p.

WILLIAMS, H.S. & BELLING G.E. The reduction of gyro-theodolite observations. Survey Review, 19 (146): 184-189, October 1967.